

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2015

Bc. Adam Grygar

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

**Modernizace komponentů měniče napětí
pro fotovoltaický panel**

**Modernization of components of Voltage
Converter for Photovoltaic Panel**

2015

Bc. Adam Grygar

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Adam Grygar**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612T015 Elektronika
Téma: Modernizace komponentů měniče napětí pro fotovoltaický panel
Modernization of components of Voltage Converter for Photovoltaic Panel

Zásady pro vypracování:

1. Rozeberte optimální možnosti využití komerčně dostupných fotovoltaických panelů.
2. Optimalizujte možnosti použití těchto panelů pro nabíjení akumulátorových baterií.
3. Na základě pokynů vedoucího diplomové práce navrhnete a realizujete laboratorní vzorek měniče pro fotovoltaický panel.

Seznam doporučené odborné literatury:

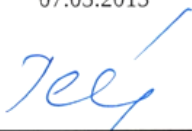
Katalogové listy fotovoltaických panelů.
Firemní literatura firmy SMA.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne:

5.5.2015



.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D za odborné vedení práce. Dále také za umožnění přístupu do měřicí laboratoře a poskytnutí potřebných materiálů a přístrojů.

V Ostravě dne:

5.5.2015



.....

Podpis

Abstrakt

Diplomová práce pojednává o měničích napětí pro fotovoltaický panel. Jsou zde rozebrány optimální možnosti využití komerčně dostupných fotovoltaických panelů, úvod do fotovoltaiky a fotovoltaické systémy. Dále je práce zaměřena na možnosti použití fotovoltaických panelů pro nabíjení akumulátorových baterií, dimenzování akumulátorů a způsoby zapojení. V praktické části je navržen měnič napětí pro fotovoltaický panel. Tento měnič se skládá z fotovoltaického panelu, regulátoru solárního nabíjení, akumulátoru, napěťového střídače a transformátoru. Všechny tyto bloky jsou navrženy, popsány a změřeny.

Klíčová slova

fotovoltaický panel
olověný akumulátor
měnič napětí pro fotovoltaický panel
regulátor solárního nabíjení
napěťový střídač

Abstract

The thesis discusses about the voltage converter for photovoltaic panel. There are analyzed the optimal possibilities which commercial using available photovoltaic panels, introduction to photovoltaics and photovoltaics systems. Work is focused on possibility using photovoltaic panels for charge the batteries, accumulators and sizing methods of connection. In the practical part is proposed the power inverter for photovoltaic panel. This converter consists of a photovoltaic panel, solar controller charging, the battery voltage inverter and transformer. All these blocks are designed and described and measured.

Key word's

photovoltaic panel
lead battery
voltage converter for photovoltaic panel
solar charging controller
voltage inverter

Seznam použitých symbolů a zkratek:

C	kapacita/kondenzátor [F]
C	kapacita akumulátoru [Ah]
D	dioda
DPS	deska plošných spojů
f	frekvence [Hz]
I	proud [A]
I_e	intenzita záření [W/m^2]
I_{FAV}	propustný proud [A]
I_{SC}	zkratový proud [A]
m	hmotnost [kg]
obr.	obrázek
P	výkon fotovoltaiického panelu [W_p]
P_1	příkon [W]
P_2	výkon [W]
P_{TOT}	celkový ztrátový výkon [W]
PWM	pulsně šířková modulace
Q, T	tranzistor
R	odpor/rezistor [Ω]
r_d	diferenciální odpor [Ω]
R_{thj-c}	teplotní odpor: přechod – pouzdro [$^{\circ}C/W$]
R_{thc-h}	teplotní odpor: pouzdro – chladič [$^{\circ}C/W$]
R_{thh-a}	teplotní odpor: chladič – okolí [$^{\circ}C/W$]
s	střída
t	teplota [$^{\circ}C$]
tab.	tabulka
T_a	teplota okolí [$^{\circ}C$]
T_j	teplota polovodičového přechodu [$^{\circ}C$]
U	napětí [V]
U_{oc}	napětí naprázdno [V]
U_{TO}	prahové napětí [V]
η	účinnost [%]

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Optimální možnosti využití komerčně dostupných fotovoltaických panelů	2
2.1. Úvod do fotovoltaiky	2
2.2. Generační vývoj fotovoltaických článků.....	3
2.2.1. První generace	3
2.2.2. Druhá generace.....	3
2.2.3. Třetí generace.....	3
2.3. Fotovoltaické systémy.....	4
2.3.1. Drobné aplikace	4
2.3.2. Ostrovní systémy (off-grid).....	4
2.2.3. Síťové systémy (on-grid)	6
2.4. Srovnání parametrů fotovoltaických panelů jmenovitého výkonu 250W	7
2.4.1. Samsung S-Energy SM-250PC8	8
2.4.2. Kyocera KD250GH-4YB2.....	9
2.4.3. CNPV-250MB.....	10
2.4.4. Axitec AC-250P/156-60S	11
3. Optimalizace možností použití fotovoltaických panelů pro nabíjení akumulátorových baterií	12
3.1. Uchovávání energie získané ze slunečního světla.....	12
3.2. Vlastnosti akumulátorů	12
3.3. Určení kapacity a dimenzování akumulátoru.....	13
3.4. Disponibilní kapacity	13
3.5. Způsoby zapojení akumulátorů	14
3.5.1. Sériové zapojení akumulátorů.....	14
3.5.2. Paralelní zapojení akumulátorů.....	15
3.5.3. Skupinové zapojení akumulátorů	15
3.6. Olověné akumulátory	15
3.7. Olověné gelové akumulátory	18
3.8. Lithium-iontové akumulátory	19
4. Návrh a realizace laboratorního vzorku měniče pro fotovoltaický panel	20
4.1. Regulator solárního nabíjení pro olověné akumulátory 12V.....	23

4.2. Napětový střídač.....	33
5. Závěr	44
6. Seznam použité literatury.....	45

1. Úvod

Tato diplomová práce obsahuje popis a analýzu měniče pro fotovoltaický panel.

V první části práce je zpracován úvod do fotovoltaiky, který popisuje historii fotoelektrického jevu, řez polovodičem fotovoltaického článku, generační vývoj fotovoltaických článků, rozdělení fotovoltaických systémů a komparaci parametrů komerčně dostupných fotovoltaických panelů se jmenovitým výkonem $250W_p$ od firem Samsung S-Energy, Kyocera, CNPV a Axitec.

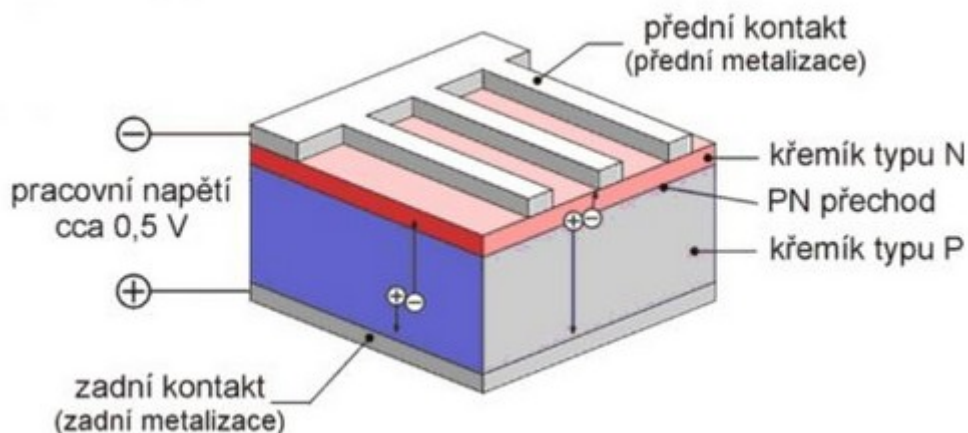
V druhé části práce je zpracováno použití fotovoltaických panelů pro nabíjení akumulátorových baterií. Zde je rozebráno rozdělení akumulátorů dle konstrukce a použitých materiálů se zaměřením na olověné akumulátory, olověné gelové akumulátory a lithium-iontové akumulátory, které se nejčastěji používají ve fotovoltaických systémech. Dále určení kapacity a dimenzování akumulátoru, způsoby zapojení akumulátorů a vybíjecí charakteristiky akumulátoru.

Ve třetí části je zpracován návrh a realizace laboratorního vzorku měniče pro fotovoltaický panel. Vnitřní struktura tohoto měniče obsahuje regulátor solárního nabíjení olověného akumulátoru, akumulátor, napěťový střídač a toroidní transformátor. Regulátor solárního nabíjení plní napěťovou regulaci, kontrolu nabití, elektronické jištění a ochranu před hlubokým vybitím akumulátoru. Jsou zde uvedeny zatěžovací charakteristiky při stavu, kdy slunce nesvítí, to znamená při nulovém napětí FV panelu a při plném napětí FV panelu. Dále je zpracováno schéma, desky plošných spojů a návrh chladičů. Napěťový střídač je řešen jako transformátorový a je možné ho rozdělit do třech základních bloků – výkonový obvod, PWM modulátor a pomocné komparátory, které zajišťují bezchybný provoz střídače. Dále jsou změřeny průběhy napětí a proudu na vstupu a výstupu střídače a vypočtená účinnost.

2. Optimální možnosti využití komerčně dostupných fotovoltaických panelů

2.1. Úvod do fotovoltaiky

Fotovoltaika umožňuje přímou přeměnu světla ze slunce na elektrický proud. Tato přeměna je umožněna prostřednictvím takzvaného fotoelektrického jevu. Tento jev je v zásadě uskutečněn vzájemným působením mezi slunečním světlem a dotovaným polovodičem solárních článků. Přitom dochází k uvolňování elektrických nosičů nábojů, které jsou prostřednictvím kovových kontaktů odváděny. Takto vyrobenou stejnosměrnou energii lze využívat přímo, nebo jak tomu nejčastěji bývá zpracovat pomocí střídače pro využití v klasické distribuční síti.

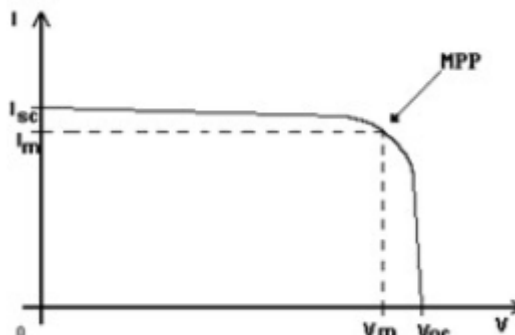


Obr. 2.1: Řez polovodičem fotovoltaického článku

Francouzský fyzik Antoine César Becquerel (1788 - 1878) je považován za objevitele fotoelektrického jevu. Tento jev poprvé popsal v roce 1887 Heinrich Hertz. Pozoroval chování elektromagnetického vlnění při dopadu na povrch kovu. Americký vynálezce Charles Fritts v roce 1883 vytvořil první solární článek, který byl vyroben ze selenu potaženého tenkou vrstvou zlata, a jeho účinnost byla pouze 1%, což vzhledem k vysoké ceně bylo pro výrobu elektrické energie nevyhovující. Albert Einstein fyzikálně popsal v roce 1905 fotoelektrický jev, za který mu byla udělena Nobelova cena. Americký inženýr Russell Shoemaker Ohl si nechal patentovat solární článek v roce 1946, který byl založen na monokrystalickém křemíku s účinností asi 6%. Velkým impulsem pro rozvoj fotovoltaiky byla kosmonautika, kdy začaly solární články sloužit jako zdroj energie pro vesmírné družice. První družice, u které solární články napájely jeden z vysílačů po 7 let, byla v roce 1958 americká družice Vanguard I. Výroba elektrické energie fotovoltaickými panely je ekologická, nehluká a z dnešního hlediska také i investičně velmi výnosná. [11]

2.2. Generační vývoj fotovoltaických článků

2.2.1. První generace



Obr. 2.2: VA charakteristika solárního článku první generace

V současnosti se nejčastěji setkáváme s touto generací solárních článků. Jedná se o nám dobře známé monokrystalické a polykrystalické křemíkové články. Jejich velkou nevýhodou jsou vysoké výrobní náklady a poměrně malá účinnost, která se pohybuje v rozmezí (12 – 14)%, proto je vývoj a výzkum směřován k druhé a třetí generaci fotovoltaických článků. Komerčně se tyto články začaly objevovat na trhu v sedmdesátých letech minulého století.

2.2.2. Druhá generace

Druhou generací jsou tenkovrstvé články a technologie je zaměřena na nevýhody první generace, avšak účinnost komerčně dostupných fotovoltaických článků je prozatím nižší, než u první generace, dají se ale pořídit za nižší cenu. Fotovoltaické články druhé generace se vyznačují 100-1000x tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou thin-film. Zejména se používají články z amorfního nebo mikrokřemíkového křemíku. Také se využívají takzvané smíšené polovodiče materiálů, jako jsou měď, indium, gallium, síra a selen označované jako CIS struktury. Tyto články se začaly vyrábět v polovině osmdesátých let minulého století a dosahují účinnosti do 10%.

2.2.3. Třetí generace

Jedná se o technologii budoucnosti. Tato technologie zahrnuje vícevrstvé a koncentrátorové články. Vícevrstvé články fungují na principu vícevrstevných struktur, každá struktura absorbuje určitou část spektra slunečního záření a zbytek záření přechází do nižších vrstev. Tímto principem se maximalizuje energetická využitelnost fotonů. Využití klasických drahých fotovoltaických článků se snaží zvýšit koncentrátorové články pomocí čoček nebo zrcadel, jimiž lze koncentrovat sluneční záření a osvětlovat tak článek mnohem většími intenzitami světla. Jejich účinnost je okolo 30% a více.

Novou technologií výroby energie ze slunce za pomoci speciální techniky pomocí fotosyntézy vyvinuli izraelští vědci z univerzity v Tel Avivu. Novou technologií by měly být geneticky zkonstruované bílkoviny, které k výrobě elektrické energie mají využívat fotosyntézu. Tyto články by měly být asi 200x levnější. Účinnost by se měla zvýšit až na 25% v porovnání s křemíkovými panely, které mají účinnost (12-14)%. [2]

2.3. Fotovoltaické systémy

Dle účelu použití je možno fotovoltaické systémy rozdělit do tří skupin – drobné aplikace, ostrovní systémy a síťové systémy. Největší význam mají síťové systémy, které například v Německu tvoří více než 90% veškerých elektrických instalací.

2.3.1. Drobné aplikace



Obr. 2.3: Solární nabíječka mobilního telefonu

Tyto aplikace tvoří nejmenší, ale nezanedbatelný podíl na fotovoltaickém trhu. Jejich využití nacházíme v kalkulačkách či solárních nabíječkách akumulátorů. Trh drobných aplikací nabývá velkého významu z důvodu poptávky po nabíjecích zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů v mobilních telefonech, noteboocích, fotoaparátech, MP3 přehrávačích podobně, které budou využity na dovolených, v kempech nebo ve volné přírodě.

2.3.2. Ostrovní systémy (off-grid)

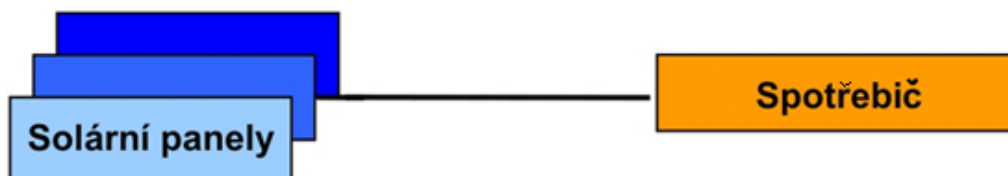


Obr. 2.4: Ostrovní systém

Tyto systémy se využívají všude tam, kde není k dispozici elektrická rozvodná síť a kde je zapotřebí střídavého napětí 230V. Obvykle jsou tyto systémy instalovány na místech, kde není možné nebo není účelné vybudovat elektrickou přípojku. Obvykle jsou důvody ekonomické, to znamená, že náklady na vybudování elektrické přípojky jsou srovnatelné nebo vyšší v porovnání s náklady na fotovoltaický systém. Zejména se jedná o odlehle objekty, kterými

jsou například chaty, jachty, karavany, napájení dopravní signalizace a telekomunikačních zařízení, zahradní svítidla, světelné reklamy a jiné.

Off-grid systémy se dále rozdělují na systém s přímým napájením, hybridní systémy a systémy s akumulací elektrické energie. U systémů s přímým napájením jde o prosté propojení solárního panelu nebo solárních panelů se spotřebičem, kdy spotřebič funguje pouze v době, kdy je dostatek intenzity slunečního záření – nabíjení akumulátorů malých přístrojů, čerpání vody pro závlahu, napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor a podobně.



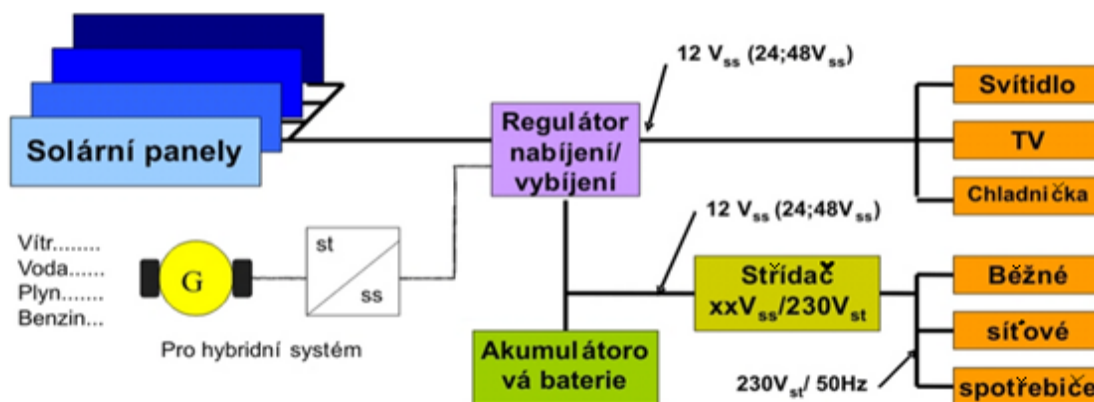
Obr. 2.5: Systémy s přímým napájením

Hybridní ostrovní systémy se využívají všude tam, kde je nutný celoroční provoz se značným vytížením. Podstatně méně elektrické energie je možné získat v zimních měsících, než v letních měsících. Proto je nutné tyto systémy dimenzovat i na zimní provoz, čímž se zvýší instalovaný výkon systému a podstatně vzrostou pořizovací náklady. Pro tyto důvody jsou hybridní ostrovní systémy doplňovány alternativním zdrojem energie, kterým například může být větrná elektrárna, malá vodní elektrárna, kogenerační jednotka, elektrocentrála a podobně.

Systémy s akumulací elektrické energie představují typické systémy nezávislých na síti. Tyto systémy navíc obsahují solární baterie, které vyrobenou energii uchovávají na dobu, kdy není dostatek slunečního svitu, tedy v noci. Elektronický regulátor zajišťuje optimální dobíjení a vybíjení akumulátorové baterie.

Ostrovní systém se skládá z:

- fotovoltaických panelů
- elektronického regulátoru dobíjení akumulátorů
- akumulátorů (v 95% olověných)
- střídače
- popřípadě sledovače Slunce, indikačních a měřících přístrojů



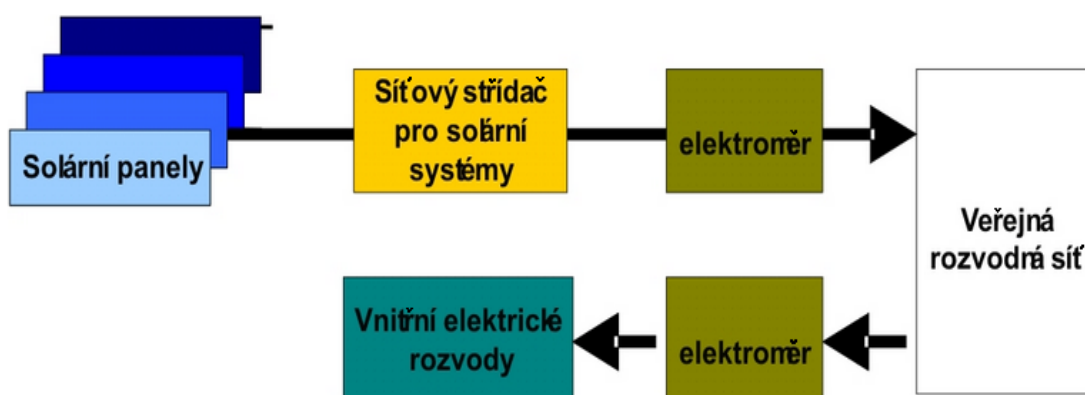
Obr. 2.6: Hybridní ostrovní systém

2.2.3. Síťové systémy (on-grid)

Tyto systémy nachází největší uplatnění v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě, kdy je dostatek slunečního svitu jsou spotřebiče v budově přímo napájeni vlastní „solární“ elektrickou energií a případný přebytek je dodáván zpět do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní solární energie je elektrická energie odebírána z rozvodné sítě. Díky mikroprocesorovému řízení síťového střídače systém pracuje zcela automaticky. Připojení k síti musí být schváleno u rozvodných závodů. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti se pohybuje v rozmezí jednotek kilowatt až jednotek megawatt. V současné době se tento typ systémů jeví (v případě dotace) jako zajímavá investice, kdy je veškerá produkce fotovoltaické elektrárny prodávána do sítě za takzvané výkupní tarify. Možnosti aplikace jsou: střechy rodinných domů $1-10kW_p$, fasády a střechy administrativních budov $10kW_p$ až stovky kW_p , protihlukové bariéry kolem dálnice, fotovoltaické elektrárny na volné ploše atd. [3, 12]

Základními prvky on-grid fotovoltaických systémů jsou:

- fotovoltaické panely
- střídač
- kabeláž
- měřič vyrobené elektrické energie (elektroměr)
- popřípadě sledovač Slunce, indikační a měřicí přístroje



Obr. 2.7: Síťové systémy

2.4. Srovnání parametrů fotovoltaických panelů jmenovitého výkonu 250W

V dnešní době je mnoho firem, které vyrábí fotovoltaické panely, nejznámější jsou: Kyocera solar, Samsung S-Energy, CNPV, Axitec, Bosh, Panasonic, NexPower, Yingli solar a Hanwha solar. Pro volbu konkrétního fotovoltaického panelu je nutné znát účel použití – ostrovní systémy, fotovoltaické elektrárny, solární elektrárny, hybridní fotovoltaické elektrárny a solární záložní zdroje. Fotovoltaické panely jsou dostupné v mnoha variantách jmenovitého výkonu, který je většinou v katalogových listech udáván při ozáření $1000W/m^2$. Pro komerční použití jsou fotovoltaické panely dodávány o výkonech $125W_p$ až $490W_p$. Tyto panely lze spojit sériově, paralelně nebo sérioparalelně dle konkrétních požadavků. Při výběru fotovoltaického panelu je důležité znát umístění – dům, chata, louka.

V této komparaci jsou uvedeny čtyři fotovoltaické panely jmenovitého výkonu 250W od firem: Samsung S-Energy, Kyocera, CNPV a Axitec. Pro volbu konkrétního panelu se zaměřujeme na to, zda je střecha trvale osvětlena, nebo je částečně stíněna, dále pak na garanci provozu, maximální napětí systému, napětí naprázdno, zkratový proud, účinnost, rozměry, hmotnost, tolerance výkonu, účel použití, design a cena. Všechny důležité parametry lze nalézt v katalogových listech fotovoltaických panelů.

2.4.1. Samsung S-Energy SM-250PC8



Obr. 2.8: Fotovoltaický panel Samsung S-Energy SM-250PC8

Tento fotovoltaický solární panel lze použít pro budování hybridních fotovoltaických elektráren. Ve spojení s MPPT solárním regulátorem je tento fotovoltaický solární panel možné také použít k budování vysoce efektivních ostrovních systémů. Tento monokrystalický fotovoltaický panel lze použít také na střechy s mírným odklonem od jihu nebo na částečně stíněné střechy. Garance provozu na 30 let (90% minimálního výstupního výkonu prvních 10 let, 80% minimálního výstupního výkonu po 30 let.) Záruka 10 let na vady materiálu a zpracování. [4]

Tab. 2.1: Parametry fotovoltaického panelu Samsung S-Energy SM-250PC8

Jmenovitý výkon P	$250W_p$
Jmenovité napětí	$24V$
Napětí při P_{max} [V_{pm}]	$30,8V$
Proud při P_{max} [I_{mp}]	$8,14A$
Garantovaný minimální P_{max}	$242W$
Zkratový proud [I_{sc}]	$8,67A$
Napětí naprázdno [V_{oc}]	$37,5V$
Maximální napětí systému	$1000V$
Účinnost modulu	$15,03\%$
Rozměry	$(1665 \times 999 \times 50) \text{ mm}$
Hmotnost	$20kg$
Počet článků na modul	60buněk (matice 6 x 10)
Cena	7103Kč

2.4.2. Kyocera KD250GH-4YB2



Obr. 2.9: Fotovoltaický panel Kyocera KD250GH-4YB2

Jedná se o vysoce kvalitní fotovoltaický solární panel o nominálním výkonu $250W_p$ s ověřenou kvalitou. Tento špičkový fotovoltaický solární panel je určen primárně pro malé i velké fotovoltaické solární elektrárny. Technologie vysoce účinných polykrystalů dává možnost vysoké efektivity i při horších světelných podmínkách, například v zimě. Tento fotovoltaický panel je možno také velmi efektivně využít v kombinaci s MPPT Trackrem i pro ostrovní solární systémy například na chatu, chalupu nebo jiná místa, kde není zaveden elektrický proud. Garance provozu na 20 let (90% minimálně specifikovaného výkonu na 10let, 80% minimálně specifikovaného výkonu na 20 let. Záruka 10 let platná v Evropě. [5]

Tab. 2.2: Parametry fotovoltaického panelu Kyocera KD250GH-4YB2

Jmenovitý výkon	$250W_p$
Maximální napětí systému	$1000V$
Napětí při jmenovitém výkonu	$29,8V$
Proud při jmenovitém výkonu	$8,39A$
Napětí naprázdno V_{oc}	$36,9V$
Zkratový proud I_{sc}	$9,09A$
Účinnost	$15,1\%$
Tolerance výkonu	$(+5/-3)\%$
Rozměry	$(1662 \times 990 \times 46)mm$
Hmotnost	$20kg$
Počet článků na modul	60 buněk (matice 6 x 10)
Cena	8833Kč

2.4.3. CNPV-250MB



Obr. 2.10: Fotovoltaický panel CNPV-250MB

Jedná se o fotovoltaický solární panel, který je velice oblíbeným designovým monokrystalickým panelem. Fotovoltaický panel je vhodný jak pro malé instalace – například pro ostrovní solární systémy, tak i pro hybridní fotovoltaické elektrárny. Používá se pro menší střechy, kde je třeba umístit co nejvyšší výkon, ale je také kladen důraz na design, který je možné těmito panely docílit, protože jsou celé černé. [6]

Tab. 2.3: Parametry fotovoltaického panelu CNPV-250MB

Jmenovitý výkon	$250W_p$
Tolerance výkonu	$(0/+3)\%$
Napětí při jmenovitém výkonu	$30,16V$
Proud při jmenovitém výkonu	$8,3A$
Napětí naprázdno	$38V$
Zkratový proud	$8,85A$
Účinnost	$15,3\%$
Počet článků na modul	60 buněk (matice 6 x 10)
Rozměry	$(1650 \times 992 \times 35)mm$
Hmotnost	$18kg$
Cena	7502Kč

2.4.4. Axitec AC-250P/156-60S



Obr. 2.11: Fotovoltaický panel Axitec AC-250P/156-60S

Jedná se nyní o velice oblíbený polykrystalický fotovoltaický solární panel. Tento fotovoltaický panel je možné použít jak pro malé instalace – ostrovní solární systémy, tak i pro hybridní fotovoltaické elektrárny. Používá se pro menší střechy, kde je třeba umístit co nejvyšší výkon. [7]

Tab. 2.4: Parametry fotovoltaického panelu Axitec AC-250P/156-60S

Jmenovitý výkon	$250W_p$
Jmenovité napětí	$30,7V$
Jmenovitý proud	$8,18A$
Zkratový proud	$8,71A$
Napětí naprázdno	$37,8V$
Účinnost	$15,35\%$
Maximální napětí systému	$1000V$
Počet článků na modul	60 buněk (matice 6 x 10)
Rozměry	$(1654 \times 990 \times 38)mm$
Hmotnost	$19kg$
Cena	5566Kč

3. Optimalizace možností použití fotovoltaických panelů pro nabíjení akumulátorových baterií

3.1. Uchovávání energie získané ze slunečního světla

Na uchovávání energie u fotovoltaických systémů klademe velký důraz, protože slunce nesvítí stále, nejen v našich zeměpisných šířkách, ale také v noci a také ne vždy ve dne. Od uchovávání energie je možné upustit, je-li solární zařízení provozováno ve veřejné síti, která dodá potřebnou energii při výpadku solární energie, nebo taktéž u přístrojů s velmi malým příkonem napájených z fotovoltaických článků. Uchovávání elektrické energie je z hlediska ochrany životního prostředí velmi nepříznivé, protože pracujeme s nebezpečnými látkami, jako je olovo, kyselina sírová, kadmium, nikl. Množství energie produkované solárním panelem může ohrozit jakékoliv zastínění slunce mrakem, čímž rapidně klesá množství produkované energie. K uchovávání energie z fotovoltaických panelů se využívá akumulátorů.

Tyto akumulátory se dělí dle konstrukce a použitých materiálů:

- olověné akumulátory
- niklkadmiové akumulátory
- niklželezné akumulátory
- stříbrozinkové akumulátory
- sodíkosírové akumulátory
- niklontové akumulátory

V převážné míře se u stacionárních solárních zařízení uplatnily olověné akumulátory. Pro mobilní zařízení se osvědčily i niklkadmiové akumulátory. V dnešní době se u komerčně využívaných zařízení se používají niklontové akumulátory. Další vyjmenované materiály jsou buď příliš drahé, nebo mají nízkou účinnost.

3.2. Vlastnosti akumulátorů

Hlavním požadavkem na akumulátory je uchování elektrické energie v její kapacitě při trvalé pohotovosti k uvolnění této energie. Toto je splněno realizováním následujících požadavků:

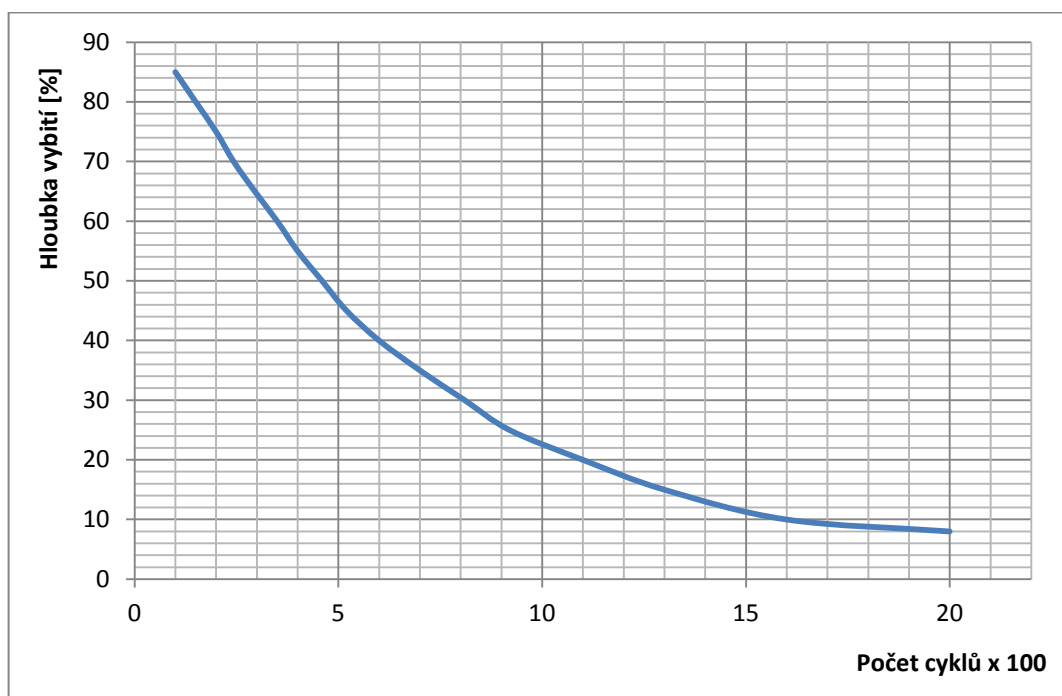
- dostatečně vysoká schopnost nabíjení a akumulace výkonu
- dlouhotrvající stálost v cyklickém provozu
- dobrá schopnost opakovaného nabíjení
- nenáročný provoz na údržbu

Dobrá akumulace výkonu znamená téměř bezztrátový příjem proudu při daném nabíjecím napětí a rychlé opětovné nabíjení. Účinnost nabíjení akumulátoru by měla činit asi 90%. To znamená, že po odebrání 10Ah je nutné akumulátor dobít energií

$$1,1 \cdot 10Ah = 11Ah,$$

abychom dosáhli výchozího stavu. Akumulátor musí být schopen přijímat i nejmenší proudy. Stálost v cyklickém provozu (nabíjení – vybíjení) se tím více projevuje, čím většího počtu nabíjecích/vybíjecích cyklů dosáhl akumulátor během své doby používání. Tato cyklická stálost závisí na dosahované hloubce vybití u každého akumulátoru při jednotlivých vybíjeních. Dosažitelný počet cyklů je tím vyšší, čím je vybití nižší, což ukazuje obrázek 3.1. Vybíjí-li se

akumulátor pravidelně o 40% své kapacity, vydrží zatížení 550 cyklů, vybíjí-li se pouze o 20% své kapacity, vydrží více, než dvojnásobné zatížení, asi 1100 cyklů. Odčerpá-li se z akumulátoru polovina jeho kapacity v ampérhodinách, jeho hloubka vybití bude v tomto cyklu 50%.



Obr. 3.1: Dosažitelný počet cyklů v závislosti na hloubce vybití

Schopnost opakovaného nabíjení akumulátoru po jeho vybití je dána tím, že je možné ho znovu plynule nabít až téměř na jeho jmenovitou kapacitu, to znamená bez významnějších ztrát akumulační kapacity.

3.3. Určení kapacity a dimenzování akumulátoru

Kapacita akumulátoru v ampérhodinách (Ah) určuje, po jakou dobu můžeme využívat určitého proudu akumulátoru jako zásobníku energie, tedy ho vybíjet, než bude muset být znovu nabit, tedy doplněn o elektrickou energii. Nezbytná velikost kapacity akumulátorů závisí hlavně na: dosažitelném výkonu solárního generátoru, denní době slunečního svitu v místě instalace, tedy měsíční střední hodnotě, počtu instalovaných elektrických spotřebičů, požadované době provozu těchto spotřebičů. S těmito vlivy musíme počítat v bilanci elektrické energie při úvahách o napájení solární energií.

3.4. Disponibilní kapacity

Kapacita v ampérhodinách nám vypovídá o tom, po jakou dobu můžeme využívat elektrickou energii akumulátoru, tedy jak dlouho se může vybíjet, než se mu bude muset dodat zpět elektrická energie. Často uváděné údaje platí pro vybíjení proudem jedné desetiny nominální kapacity. Velikost disponibilní kapacity je závislá na intenzitě daného vybíjecího proudu. Čím

nižší je vybíjecí proud, tím vyšší je disponibilní kapacita. Tabulka 3.1 ukazuje využitelnou kapacitu akumulátoru při různých dobách vybíjení a vybíjecích proudech až po napětí stavu úplného vybití (cca. 10,5V).

Tab. 3.1: Doba vybíjení a akumulační kapacita solárního akumulátoru 100Ah při teplotě akumulátoru 25 °C

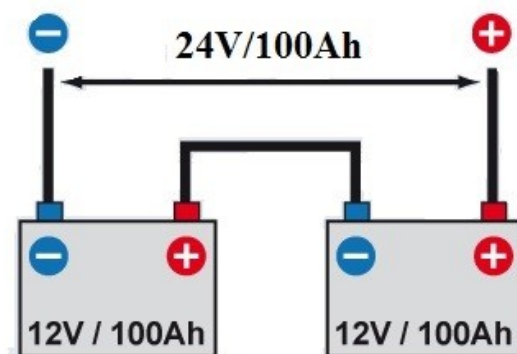
Doba vybíjení	[h]	110	50	20	10	5	2
Vybíjecí proud	[A]	1	1,8	4,3	8	14	25
Disponibilní kapacita	[Ah]	100	90	85	80	70	50

3.5. Způsoby zapojení akumulátorů

Akumulátory lze zapojovat paralelně nebo do série stejně jako v jiných elektrotechnických aplikacích.

3.5.1. Sériové zapojení akumulátorů

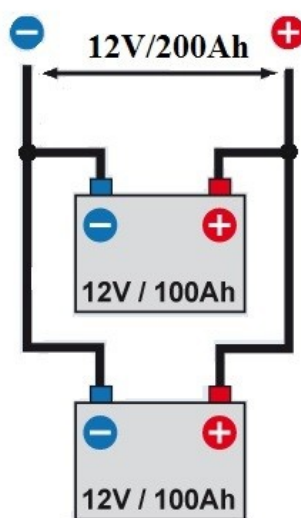
Pro zvýšení napětí zařízení je potřeba zapojit akumulátory do série. K tomu je zapotřebí použít akumulátory se stejnou konstrukcí a jmenovité kapacity, stejného stáří a stejné hustoty kyseliny – stejného stavu nabití. Dva akumulátory se zapojí do série tak, že kladný pól (+) jednoho akumulátoru se spojí se záporným pólem (-) druhého akumulátoru, jak je vidět na obrázku 3.2. Na zbylé póly se zapojí spotřebič či nabíječka nebo solární články. V sériovém zapojení se sčítá napětí jednotlivých akumulátorů, celková kapacita zapojení odpovídá kapacitě jednoho akumulátoru.



Obr. 3.2: Sériové zapojení akumulátorů

3.5.2. Paralelní zapojení akumulátorů

Pro zvýšení kapacity je nutné akumulátory zapojit paralelně. K tomu je nutné použít jen akumulátory stejné konstrukce se stejným jmenovitým napětím a stejnou hustotou kyseliny – stavu nabití. Jmenovitá kapacita akumulátorů by měla být také stejná. Při paralelním zapojení akumulátorů by mělo být propojení kabelů symetrické, to znamená, že přívody ke kladným i záporným pólům by měly být stejného průřezu a stejné délky. Pokud jsou akumulátory totožné, paralelním spojením se jejich akumulační kapacita násobí. Obrázek 3.3 ukazuje správně zapojené akumulátory.



Obr. 3.3: Paralelní zapojení akumulátorů

3.5.3. Skupinové zapojení akumulátorů

Se stejnými akumulátory je možná také kombinace sériového a paralelního zapojení. Pak se zvyšuje jak napětí, tak i odebíraný proud.

3.6. Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou nejrozšířenější, protože jsou použity v automobilech, je možno je dostat v libovolných kapacitách. V profesionálních fotovoltaických zařízeních se místo startovacích akumulátorů používají speciální solární akumulátory. Autobaterie jsou navrženy pro krátkodobé zatížení při startování velmi vysokými proudy – asi $200A$. Akumulátory v automobilech jsou v podstatě pořád plně nabity a silně se zatěžují jen při spouštění. U zařízení určených pro fotovoltaické systémy chceme, aby využívaly celou svou kapacitu, proto musejí snášet i hluboké vybíjení. Speciální solární akumulátory lze hluboce vybit až 2000 krát, u automobilových akumulátorů je lze hluboce vybit maximálně 200 krát. Nenabijeme-li hluboce vybité akumulátory asi do 200 hodin, může dojít k nevratným poškozením. Kapacita akumulátoru se snižuje. Olověný akumulátor se skládá z více do série zapojených článků. Jmenovité napětí jednotlivého článku je $2V$. Pro $12V$ akumulátor tedy musíme spojit 6 galvanických článků. Ve vybitém stavu je napětí jednotlivých článků $1,8V$, což odpovídá u $12V$ akumulátoru napětí $10,8V$. V nabitém stavu může být napětí jednotlivých článků až $2,7V$, což

odpovídá u 12V akumulátoru napětí 16,2V. Hodnoty napětí článků, napětí akumulátoru a stav akumulátoru zobrazuje tabulka 3.2.

Tab. 3.2: Napětí ve 12-ti voltovém akumulátoru

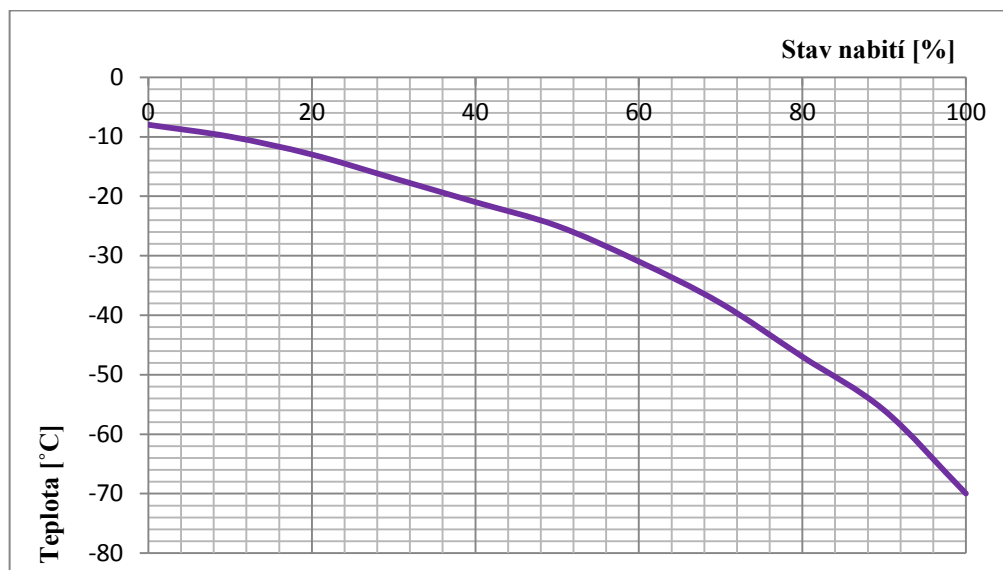
Stav	Napětí článku [V]	Napětí akumulátoru [V]
Nabitý	2,7	16,2
Vybitý	1,8	10,8
Napětí na konci nabíjení	2,3	13,8
Napětí, kde elektrolyt „vaří“	2,4	14,4

Hodnoty uváděné v tabulce 3.2 se mohou lišit u různých typů akumulátorů a jsou navíc teplotně závislé. Hodnoty napětí při nabíjení 12V olověného akumulátoru jsou zobrazeny v tabulce 3.3.

Tab. 3.3: Hodnoty napětí při nabíjení 12V olověného akumulátoru

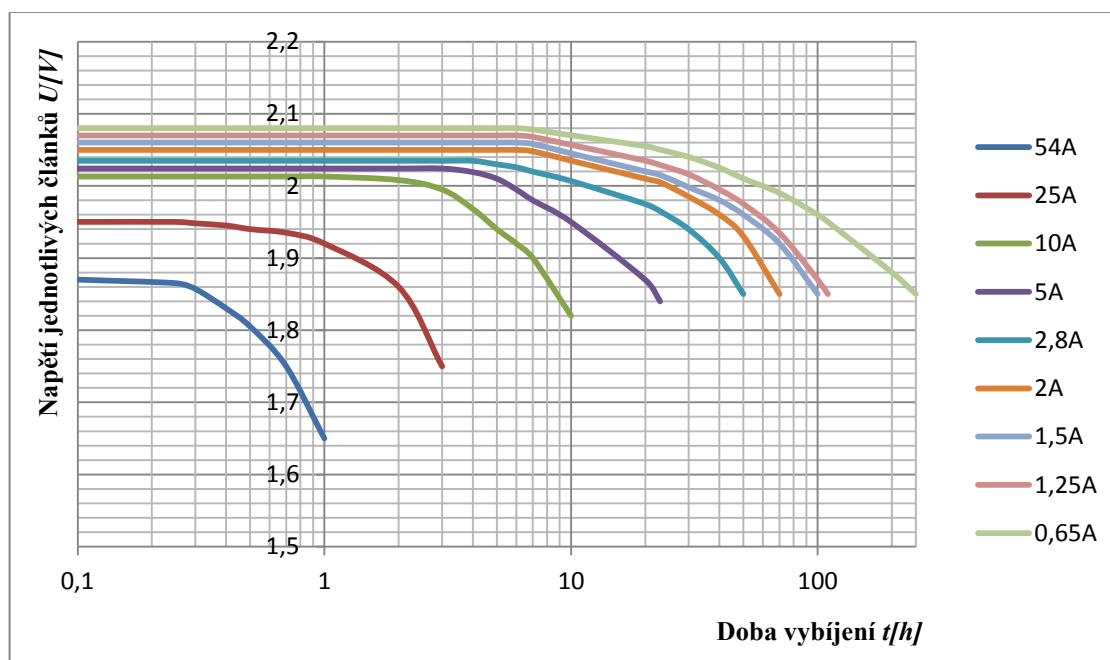
Podmínka	Napětí
Ochrana před přebíjením – napěťový práh (plynování)	14,4V
Udržované napětí nabitého stavu	13,6V
Napětí trvalého dobíjení	14,1V
Časově omezené maximální napětí (cca 1hodina/den)	15,0V

Pro teplotu akumulátoru 20 až 25°C platí nabíjecí hodnoty z tabulky 3.3. U 24 voltových akumulátorů platí hodnoty dvojnásobné. S provozní teplotou se mění konečné nabíjecí napětí. Při vysokých teplotách klesá a při nízkých teplotách stoupá. Teplotní koeficient pro 12V akumulátory má hodnotu $T_K = -25mV/^{\circ}C$, to znamená, že při zvýšení teploty o 10°C pokles napětí o 250mV a při zvýšení teploty o 40°C pokles napětí o 1V. Pro nabíjení platí, že při překročení napětí 2,4V na jednotlivý článek se uvolňuje vodík a kyslík, které tvoří výbušnou směs. Proto musí být zajištěno dobré větrání prostoru kolem akumulátoru. Aby se minimalizovaly ztráty vody z elektrolytu, je doporučeno nabíjet olověný akumulátor dle takzvané proudové napěťové charakteristiky: Maximálním nabíjecím proudem (pro konkrétní akumulátor) se akumulátor nabije na konečné nabíjecí napětí 2,35V na jednotlivý článek, to je u 12V akumulátoru napětí 14,1V. Potom se nabíječka přepne na režim konstantního napětí 14,1V, aby se dobíjely dále jen ztráty akumulátoru. U akumulátoru dochází k takzvanému samovolnému vybíjení, proto je vhodné ho dobíjet malým proudem pro udržení jeho plné kapacity. Toto samovolné vybíjení je také závislé na teplotě: například při 5°C činí cca. 1Ah za měsíc, při 30°C to činí 5Ah za měsíc. Při velmi nízkých teplotách platí stejně jako u akumulátorů v automobilech, že elektrolyt vně akumulátoru může zmrznout. Čím více je akumulátor vybit, tím více je kyselina sírová rozředěna vodou, a tím vyšší je pak teplota tuhnutí, tedy bod mrazu, jak vidíme na obrázku 3.4.



Obr. 3.4: Teplota zamrznutí olověného akumulátoru na stavu nabití

V zimě je využívání solární energie menší, tím je také akumulátor dobíjen méně a tím se zvyšuje riziko zamrznutí. Akumulátor nesmí být v zimě tak hluboce vybitý jako v létě. Olověný akumulátor obecně musí být chráněn před příliš hlubokým vybitím, to zabezpečuje ochrana v regulační technice. Dle velikosti vybíjecího proudu musí ochrana akumulátoru odpojit spotřebič při poklesu napětí na jednotlivý článek při hodnotě $1,8V$. V případě vyšších vybíjecích proudů je možno jít ještě na hodnotu nižší. Obrázek 3.5 přesně ukazuje vztah mezi vybíjecím proudem a vybíjecím napětím na článek olověného akumulátoru $100Ah$.



Obr. 3.5: Charakteristika vybíjení olověného akumulátoru při různých vybíjecích proudech

3.7. Olověné gelové akumulátory

Kromě olověných akumulátorů plněných kyselinou sírovou existují také gelové akumulátory, v nichž je kyselina sírová zahuštěna vysoce disperzní kyselinou křemičitou.

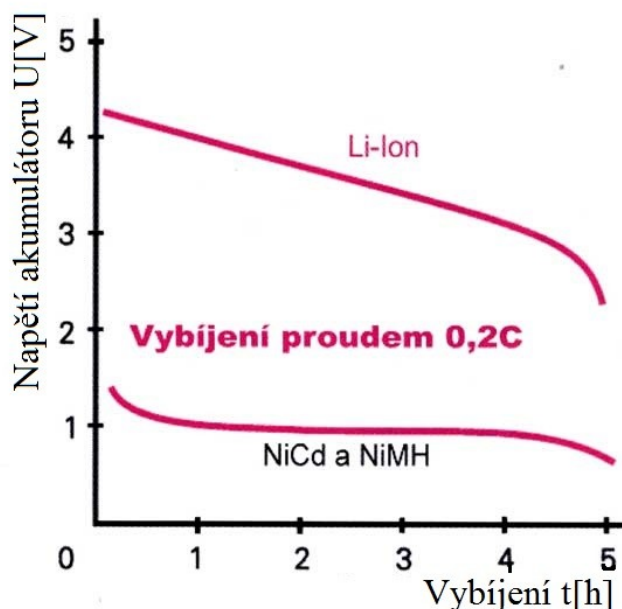


Obr. 3.6: Olověný gelový akumulátor

Vlastnosti tohoto typu akumulátoru se značně liší od konvenčního typu. Nedochází zde k sulfatizaci, která u obvyklých akumulátorů při jejich skladování ve vybitém stavu způsobuje předčasný pokles kapacity. Po celou dobu životnosti těchto akumulátorů se nemusí (ani nemůže) dodávat voda a samovolné vybíjení je ve srovnání s klasickými olověnými akumulátory je extrémně malé. Tyto akumulátory lze provozovat v libovolné poloze, ve stabilních sestavách je důležité dbát na to, aby bezpečnostní ventil směřoval nahoru a nebyl něčím překrytý. Upřednostněná metoda nabíjení je nabíjení s konstantním napětím, nabíjení konstantním proudem je taktéž možné, ale musí být pod kontrolou, aby nedocházelo k přebíjení – tím se snižuje výkon akumulátoru. Životnost těchto akumulátorů je značně závislá na tom, jak hluboko je akumulátor vybíjen v každém cyklu. Jestliže je akumulátor vybíjen pouze o 30% (na 70% své kapacity), může vydržet 1200 cyklů. Jestliže je akumulátor vybíjen na konečné vybíjecí napětí (tj. o 100% na 0% své kapacity) vydrží však jen 200 cyklů. Životnost akumulátoru je definovaná stavem, kdy už není schopen dát k dispozici 80% své udávané kapacity. Životnost olověných gelových akumulátorů se udává asi 4 až 5 let, při provozní teplotě 20°C. [1]

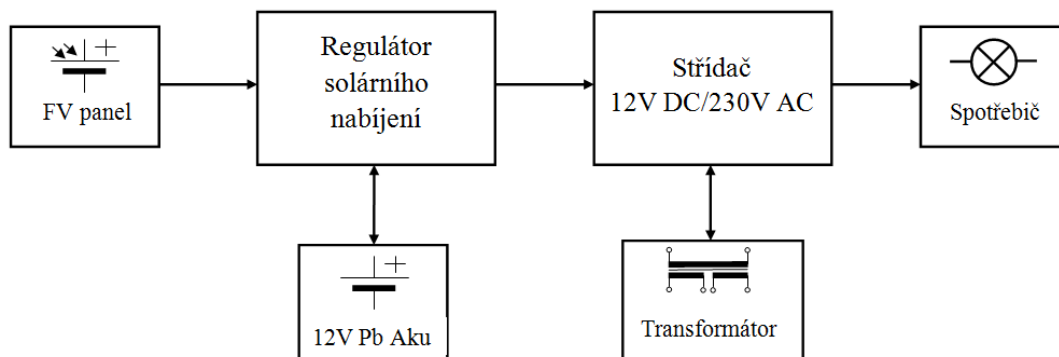
3.8. Lithium-iontové akumulátory

Lithium-iontový akumulátor je druh nabíjitelné baterie, která se běžně používá ve spotřební elektronice. Tento akumulátor je kvůli vysoké hustotě energie vzhledem k jeho objemu výborně využitelný pro přenosná zařízení. V současnosti se jedná asi o nejvíce využívaný typ. Jednotlivé akumulátory mají jmenovité napětí $3,6V$. Tyto akumulátory mají výhodný poměr váha/kapacita, velké napětí, velice malé samovybíjení, žádný paměťový jev, jednoduché nabíjení a nevyžadují žádnou údržbu. V dnešní době tyto akumulátory napájejí většinu nových elektronických přístrojů, jako jsou například kamery, mobilní telefony, notebooky a mnoho dalších. Mezi jejich nevýhody patří větší vnitřní odpor, než u nikl-kadmiových akumulátorů, špatná funkce při velmi nízkých teplotách, vyšší cena a nutná ochrana proti podvybití. Tyto akumulátory jsou vhodné zejména pro napájení spotřebičů s menším odběrem. Životnost lithium-iontových akumulátorů je 400 – 500 cyklů pro pokles kapacity na 80%. V praxi je článek často přetěžován, proto se jeho životnost zmenšuje. Elektrolyt tvoří soli lithia, které jsou rozpuštěné v organických sloučeninách. Ionty lithia se pohybují mezi katodou vyrobenou z oxidu kovů a anodou vyrobenou z pórovitého uhlíku. Současnou technologií výroby je možné dosáhnout 18% teoretického maxima hustoty energie. Akumulátory Li-Ion většinou obsahují uvnitř pouzdra ochranný obvod, který zabraňuje přebíjení nebo nepřipustně velkému vybití. Napětí akumulátoru má přibližně $3,6V$ a tato hodnota se snižuje dle míry vybití od maximální po minimální přípustnou hodnotu, tato vlastnost je výhodná pro kontrolu vybití na základě napětí. U nikl-kadmiových a nikl-metal hydridových akumulátorů se napětí drží na téměř totožné úrovni asi $1,2V$ a až při vybití dojde k silnému poklesu napětí. Na obrázku 3.7 je zobrazena charakteristika napětí akumulátoru v závislosti na vybití pro lithium-iontové akumulátory a nikl-kadmiové a nikl-metal hydridové akumulátory. [9, 10]



Obr. 3.7: Charakteristika napětí akumulátoru v závislosti na vybití

4. Návrh a realizace laboratorního vzorku měniče pro fotovoltaický panel



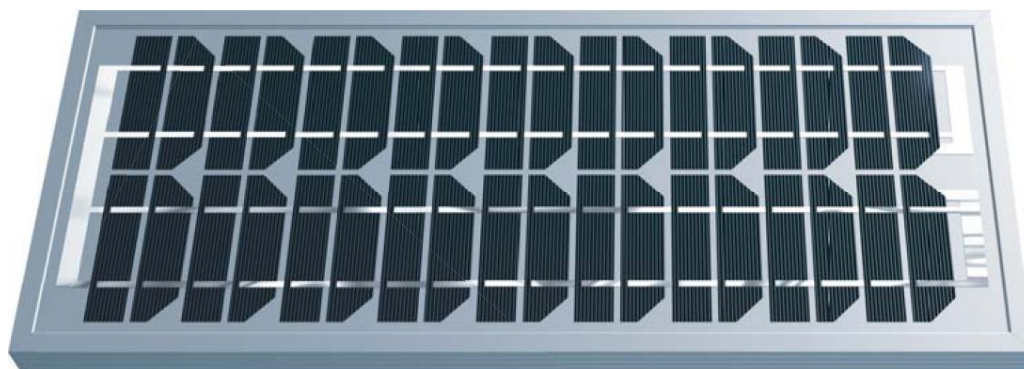
Obr. 4.1. Blokové schéma měniče pro fotovoltaický panel

Měnič pro fotovoltaický panel se skládá z:

- fotovoltaického panelu Rich Module RS-M20
- regulátoru solárního nabíjení
- olověného gelového akumulátoru Emos $12V/2,2Ah$
- napěťového střídače $12V DC/230V AC, 50Hz$
- transformátoru $2x10V/245V, 100VA$

V elektronickém regulátoru nabíjení je řízeno vhodné nabíjení a vybíjení olověného gelového akumulátoru. Tento regulátor má ochrany akumulátoru proti hlubokému vybití a přebíjení. Během dne, kdy je dostatek slunečního svitu se akumulátor nabíjí na svou plnou kapacitu. V noci, nebo dle potřeby je stejnosměrné napětí z regulátoru solárního nabíjení rozstřídáno střídačem na střídavé pulzní napětí o efektivní hodnotě $230V/50Hz$ a je možné jej použít k napájení spotřebičů. Vzhledem k účinnosti střídače cca. 86% je možné napájet spotřebiče o příkonu asi $85W$. Při změně fotovoltaického panelu za výkonnější, akumulátoru s vyšší kapacitou a transformátoru konstruovaného na vyšší výkon lze tímto zařízením napájet spotřebiče do příkonu až $300W$, bez dalších úprav.

Fotovoltaický panel Rich Module RS-M20

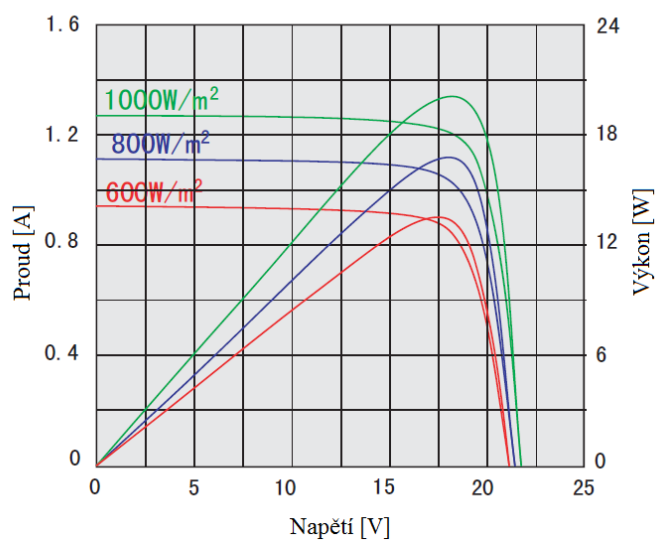


Obr. 4.2: Fotovoltaický panel Rich Module RS-M20

Tab. 4.1: Parametry fotovoltaického panelu Rich Module RS-M20

Jmenovitý výkon	20W
Maximální napětí	17,82V
Maximální proud	1,14A
Napětí naprázdno	21,96V
Zkratový proud	1,27A
Maximální napětí systému	1000V
Tolerance výstupního výkonu	± 3%
Rozměry	(662 x 299 x 34)mm
Hmotnost	2,7kg
Cena	1270Kč

Charakteristiky měřeny při teplotě 25°C



Obr. 4.3: Charakteristika fotovoltaického panelu Rich Module RS-M20

Akumulátor Emos 12V/2,2Ah

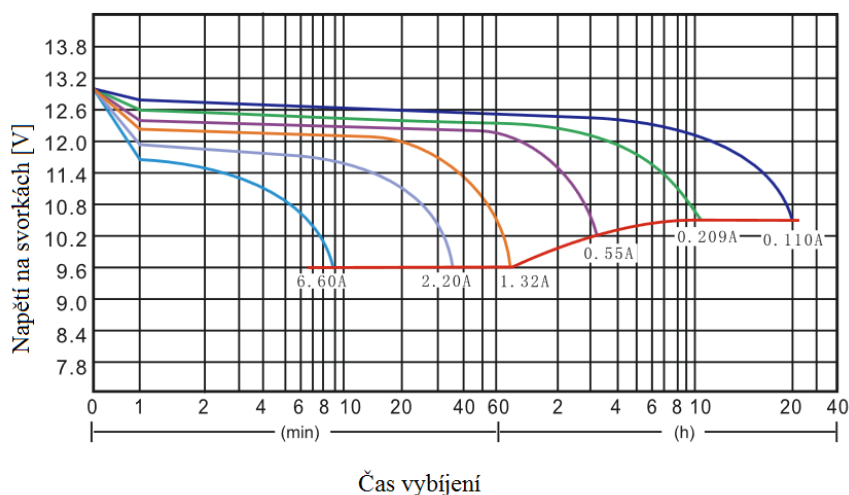


Obr. 4.4: Akumulátor Emos 12V/2,2Ah

Tab. 4.2: Parametry akumulátoru Emos 12V/2,2Ah

Jmenovité napětí	12V
Jmenovitá kapacita	2,2Ah
Testovací proud I_{20}	0,11A
Vybíjení testovacím proudem $20 \cdot I_{20}$ (2,2A, 27 min.)	38 min.
Vybíjení testovacím proudem $20 \cdot I_{20}$ (6,6A, 7 min.)	8 min.
Vnitřní odpor akumulátoru při plném nabití (25°C)	75mΩ
Rozměry	(178 x 35 x 61)mm
Hmotnost	0,95kg
Cena	259Kč

Tento akumulátor vydrží provoz 300 cyklů při vybíjení 2 hodiny proudem 0,55A a nabíjení 6 hodin proudem 0,22A. Počáteční nabíjení je proudem menším, než 0,66A při napětí 14,5 – 14,9V, posléze nabíjení konstantním napětím 13,6 – 13,8V.

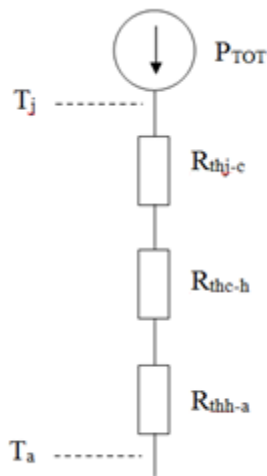


Obr. 4.5: Charakteristika vybíjení akumulátoru Emos 12V/2,2Ah

4.1. Regulátor solárního nabíjení pro olověné akumulátory 12V

Regulátor solárního nabíjení pro olověné akumulátory 12V je složen ze tří základních částí: fotovoltaický panel (20W), Akumulátor 12V / 2,2Ah a zátěž. Procesy v tomto zařízení řídí implementovaná elektronika. Řiditelnost zajišťuje integrovaný obvod LM324. Tento obvod zabezpečuje napěťovou regulaci, ochranu před hlubokým vybitím, kontrolu nabití a elektronické jištění.

Návrh chladičů:



Obr. 4.6: Tepelné schéma chladiče

Návrh chladiče pro diodu *DI* MBR1645:

$$T_j = 150^{\circ}\text{C}$$

$$T_a = 40^{\circ}\text{C}$$

$$R_{thj-c} = 1,5^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{thc-h} = 1,3^{\circ}\text{C/W} - \text{teflonová podložka}$$

$$U_{TO} = 0,6\text{V}$$

$$r_d = 0,15\Omega$$

$$I_{FAVmax} = 1,11\text{A}$$

$$P_{FAV} = U_{TO} \cdot I_{FAV} + r_d \cdot I_{FAV}^2 = 0,6 \cdot 1,11 + 0,15 \cdot 1,11^2 = 0,85\text{W} \quad (4.1)$$

$$R_{thh-a} = \frac{\Delta T}{P_{FAV}} - R_{thj-c} - R_{thc-h} = \frac{150-40}{0,85} - 1,5 - 1,3 = 126\text{K/W} \quad (4.2)$$

Návrh chladiče pro tranzistor *Q1* BUZ71:

$$T_j = 175^{\circ}\text{C}$$

$$T_a = 40^{\circ}\text{C}$$

$$R_{thj-c} = 3,33^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_{thc-h} = 1,3^{\circ}\text{C/W} - \text{teflonová podložka}$$

$$I_{max} = 1,11\text{A}$$

maximální úbytek na $Q1$:

$$U_1 - U_D - U_T - U_{AKUmin} = 0 \quad (4.3)$$

$$U_T = U_1 - U_D - U_{AKUmin} = 18 - 0,34 - 10 = 7,66V \quad (4.4)$$

$$P_{TOT} = U_T \cdot I_{max} = 7,66 \cdot 1,11 = 8,5W \quad (4.5)$$

$$R_{thh-a} = \frac{\Delta T}{P_{FAV}} - R_{thj-c} - R_{thc-h} = \frac{175-40}{8,5} - 3,33 - 1,3 = 11,25K/W \quad (4.6)$$

Návrh chladiče pro tranzistor $Q2$ BUZ10:

$$T_j = 175^\circ C$$

$$T_a = 40^\circ C$$

$$R_{thj-c} = 2,14^\circ C/W$$

$$R_{thc-h} = 1,3^\circ C/W - \text{teflonová podložka}$$

$$I_{max} = 3,3A$$

maximální úbytek na $Q2$:

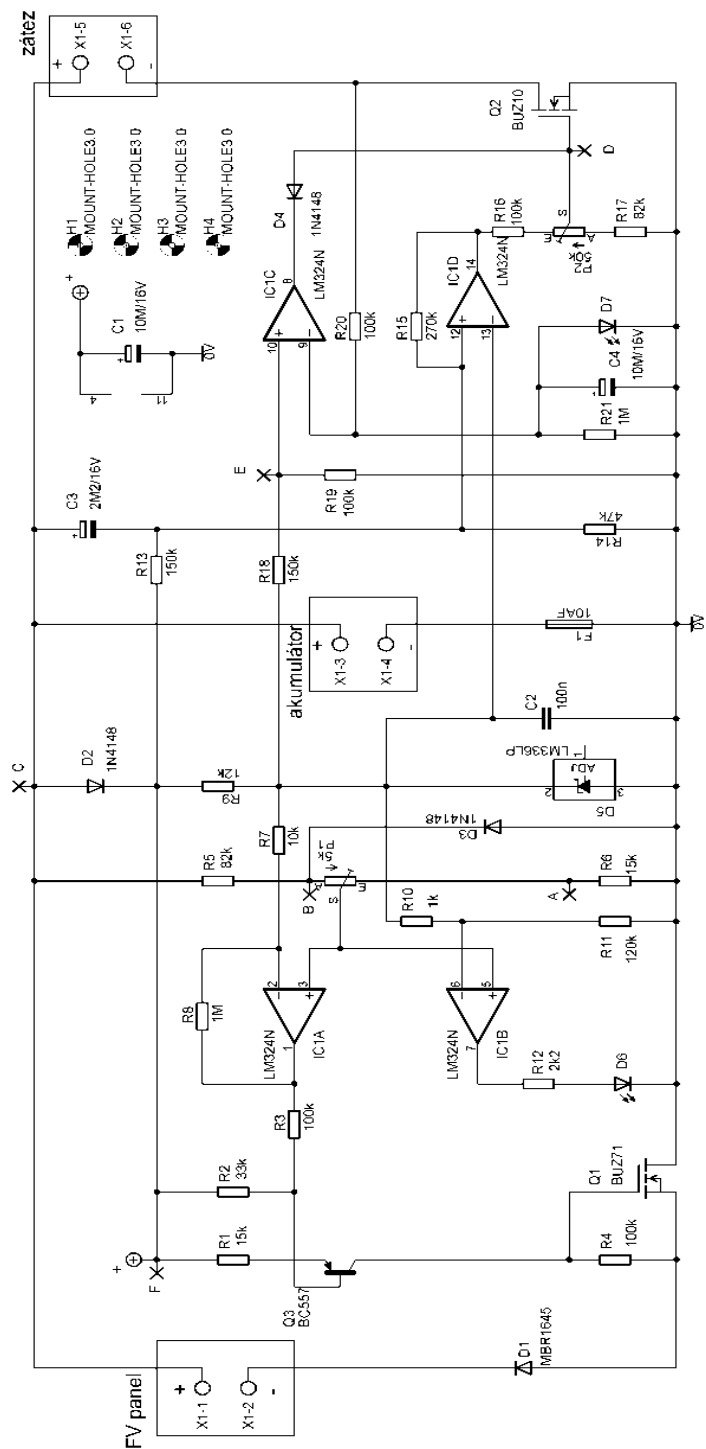
$$U_{AKUmax} - U_T - U_Z = 0 \quad (4.7)$$

$$U_T = U_{AKUmax} - U_Z = 14 - 11 = 3V \quad (4.8)$$

$$P_{TOT} = U_T \cdot I_{max} = 3 \cdot 3,3 = 9,9W \quad (4.9)$$

$$R_{thh-a} = \frac{\Delta T}{P_{FAV}} - R_{thj-c} - R_{thc-h} = \frac{175-40}{9,9} - 2,14 - 1,3 = 10,2K/W \quad (4.10)$$

Návrh a popis schématu:



Obr. 4.7: Schéma regulátoru solárního nabíjení

Regulátor solárního nabíjení poskytuje ochranu před přebíjením (omezení nabíjecího napětí), ochranu před hlubokým vybitím, elektronické jištění před zkratem, vysokou účinnost, nepatrnou vlastní spotřebu proudu, indikaci nabití a ochranu před přepólováním. Co se týče jednotlivých obvodů, je možno v schématu vyčlenit tři části:

1. Regulace napětí s obvodem *IC1A*
2. Ochrana před hlubokým vybitím s obvodem *IC1D*
3. Elektronické jištění s obvodem *IC1C*

Do vlastního regulačního obvodu je proud přiváděn z akumulátoru, nikoliv ze solárního panelu přes diodu *D2*, která slouží jako ochrana proti přepólování. Funkčnost ochrany před hlubokým vybitím a zkratem musí být účinná i za tmy. Regulátor má nepatrnou vlastní spotřebu proudu cca $1,7mA$, proto nehrozí problém se samovolným vybíjením. Výkonové tranzistory MOSFET díky malému vnitřnímu odporu (R_{DS}) nepotřebují při řízení stejnosměrným proudem skoro žádný řídicí výkon, tedy vykazují také nepatrnou ztrátu.

Dioda *D5* je v podstatě integrovaný obvod se třemi vývody (LM336) se stabilním napětím $2,5V$ sloužící jako referenční napětí pro napěťovou regulaci, ochranu před hlubokým vybitím i jištění před zkratem. Vývod pro nastavení se u integrovaného obvodu nevyužívá.

Regulace nabíjení funguje následovně: Napětí z akumulátoru se dostává přes napěťový dělič *R5*, *P1*, *R6* na regulační zesilovač *IC1A*, který má na druhém vstupu referenční napětí. Když bude napětí akumulátoru příliš nízké, bude také výstupní napětí *IC1A* nižší, napětí báze tranzistoru *Q3* také klesne a zvýší se jeho emitorový proud. To má za následek zvýšení úbytku napětí na kolektorovém odporu *R4* a tranzistor MOSFET *Q1* se vybudí do té míry, aby bylo dosaženo žádané hodnoty nabíjecího napětí. Tranzistor MOSFET leží v záporném přívodu akumulátoru, aby mohlo být přivedeno na řídicí elektrodu několikavoltové kladné napětí vůči zdrojové elektrodě. Kdyby tranzistor *Q1* byl v kladném přívodu akumulátoru, museli bychom vyrábět pomocné napětí napěťovým měničem, které by bylo o napětí U_{GS} kladnější, než je napětí akumulátoru.

Schottkyho dioda *D1* má dva úkoly: Klesne-li hodnota napětí solárního panelu pod hodnotu napětí akumulátoru, zabrání zpětnému průchodu proudu a také poskytuje ochranu při přepólování solárního panelu. Tranzistor *Q1* jako ochrana před zpětným proudem nestačí, protože od zdrojové elektrody – source ke sběrné elektrodě – drain teče parazitní diodový proud. Pro dosažení dobré účinnosti je jako *D1* použita Schottkyho dioda (MBR1645). Při velkém proudu tato dioda vykazuje velmi malý úbytek napětí.

Jednoduchou kontrolu nabíjení tvoří zesilovač *IC1A* a dioda *D1*: jakmile napětí akumulátoru překročí hodnotu $13,1V$, rozsvítí se zelená LED (dioda *D6*). Probíhá tedy napěťové nabíjení. Dioda LED se může rozsvítit i tehdy, když solární panel již nedodává žádný proud při zcela nezátíženém akumulátoru. S odpojenou zátěží totiž zůstává na napětí akumulátoru ještě chvíli na hodnotě $14V$ nebo i vyšší. Při připojení zátěže však rychle klesne na hodnotu kolem $12V$.

Hned jak se LED rozsvítí a protéká jí proud, stoupne proudová spotřeba regulátoru z $1,7mA$ na téměř $7mA$. Komparátor *IC1D* zajišťuje ochranu před hlubokým vybitím. Jakmile klesne napětí akumulátoru asi pod $9V$, zavře se obvod *IC1D* tranzistor *Q2* a tím také odběr proudu z akumulátoru. Po odpojení zátěže napětí akumulátoru opět stoupne, proto je obvod vybaven komparátorem s hysterezi $3V$. Až po dobití akumulátoru na napětí $12V$ bude opět připojena zátěž. Po připojení akumulátoru se kondenzátor *C3* automaticky postará o opětovné nastavení

odpojení proudu a také zabraňuje aktivaci ochrany před hlubokým vybitím při krátkodobých poklesech napětí akumulátoru způsobených proudovými špičkami při připojování spotřebičů. Nedílnou součástí je také elektronické jištění, které napomáhá ušetřit mnoho tavných pojistek. Výkonový tranzistor MOSFET *Q2* se přímo nabízí jako reverzibilní přerušovač, pro měření proudu lze využít úbytek napětí mezi jeho kolektorem a emitorem. Vyhodnocení probíhá v operačním zesilovači *IC1C*. Porovnávací napětí *IV* na vstup (10) dodává zenerova dioda přes napěťový dělič *R18/R19*. Na druhý vstup (9) se přivádí přes odpor *R20* hodnota úbytku napětí na tranzistoru *Q2*. Aby byl na tranzistoru MOSFET při určitém proudu určitý úbytek napětí (*IV*), je napětí U_{GS} nastavitelné trimrem *P2* v rozmezí 2 až 4V. Dosáhne-li výstupní proud nastavené hodnoty, úbytek napětí rychle vzroste a spustí komparátor *IC1C*, který přes diodu *D4* úplně zavře tranzistor MOSFET *Q2*.

Časová konstanta, která zabraňuje příliš rychlé reakci jištění (např. při zapnutí spotřebiče) je realizována kapacitou *C4* a odporem *R21*. Červená LED *D7* je zde použita jako zenerova dioda 1,6V a zajišťuje, aby se kondenzátor *C4* nabíjel jen do výše této definované hodnoty. Po odstranění zkratu se kondenzátor *C4* vybíjí přes odpor *R21*, takže obvod *IC1C* velice rychle povolí výstupní proud.

Setrvačnost jištění neznamena, že výstupní proud může nabývat krátkodobě velmi vysokých hodnot. Nastavením U_{GS} se tranzistor *Q2* až do vybuzení reakce jištění stará o omezení výstupního proudu na maximální hodnotu, která je nastavena trimrem *P2*.

Posledním jištěním pro případ, že by v případě závady tranzistoru *Q2* nebo výpadku elektroniky vznikl ničím neomezený zkratový proud, který by mohl poškodit celé zařízení je tavná pojistka *F1*.

Ochrana před přepólováním plusových vstupů operačních zesilovačů *IC1A* a *IC1B* zabezpečuje dioda *D3*. [1]

Tab. 4.3: Integrovaný obvod LM324 plní následující úkony:

IC1A	napěťová regulace
IC1B	kontrola nabití
IC1C	elektronické jištění
IC1D	ochrana před hlubokým vybitím

Tab. 4.4: Stejnoseměrná napětí na jednotlivých měřicích bodech:

A	2,1V
B	2,8V
C	14,4V
D	4 – 6V
E	1V
F	13,8V

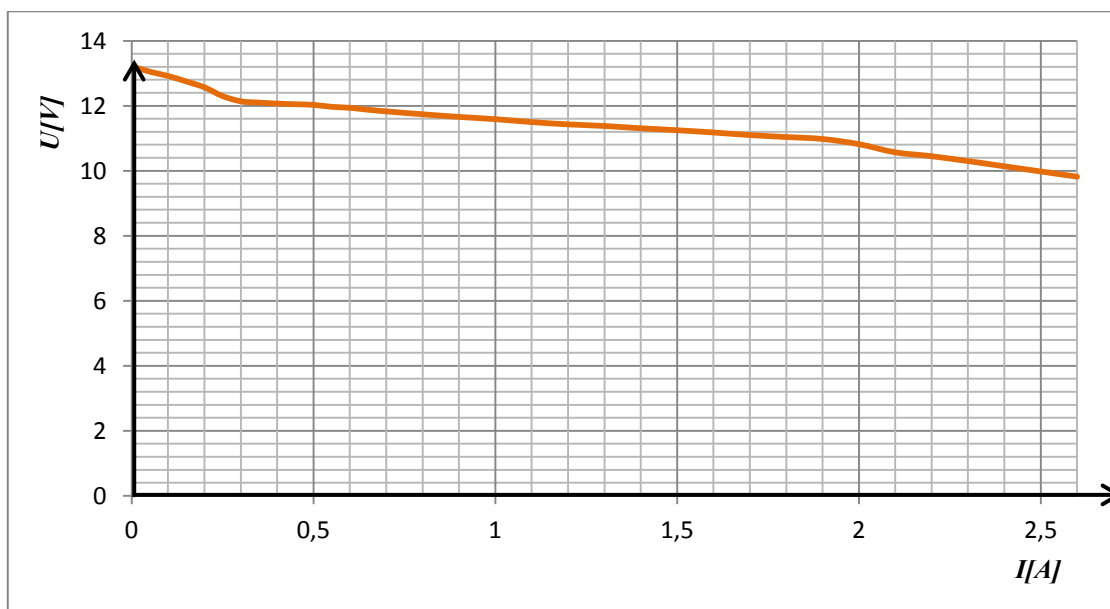
Tab. 4.5: Technická data regulátoru solárního nabíjení:

Nabíjecí proud	max. 10A
Vhodný akumulátor	1Ah až přes 100Ah
Vlastní spotřeba proudu	1,7mA

Naměřené hodnoty:

Tab. 4.6: Zatěžovací charakteristika při napájení pouze z akumulátoru
(bez napájení z FV panelu)

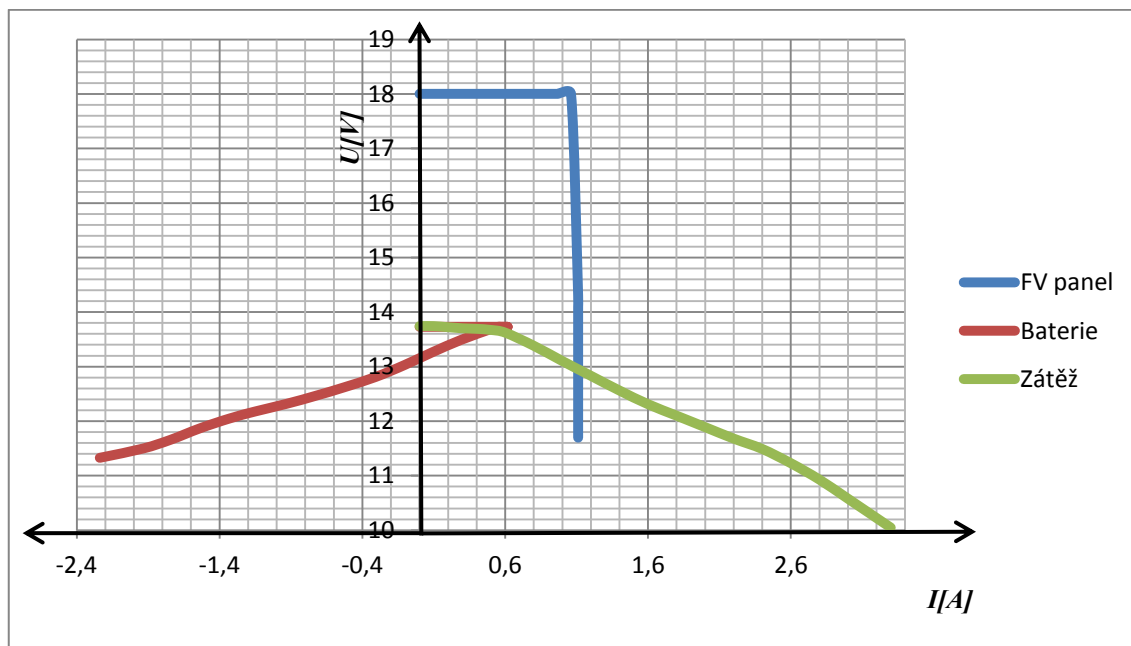
Slunce nesvítí	
$U_2 [V]$	$I_2 [A]$
13,22	0
12,92	0,1
12,57	0,2
12,14	0,3
12,07	0,4
12,03	0,5
11,94	0,6
11,83	0,7
11,74	0,8
11,66	0,9
11,59	1
11,43	1,2
11,31	1,4
11,18	1,6
11,04	1,8
10,82	2
10,45	2,2
10,14	2,4
9,82	2,6



Obr. 4.8: Zatěžovací charakteristika při napájení pouze z akumulátoru bez napětí FV panelu

Tab. 4.7: Zatěžovací charakteristika FV panelu, akumulátoru a zátěže při plném napětí FV panelu

Fotovoltaický panel		Akumulátor		Zátěž	
$U_1 [V]$	$I_1 [A]$	$U_B [V]$	$I_B [A]$	$U_2 [V]$	$I_2 [A]$
18	0	13,73	0	13,74	0
18	0,72	13,73	0,615	13,74	0,1
18	0,79	13,73	0,595	13,72	0,2
18	0,9	13,73	0,58	13,7	0,3
18	0,97	13,73	0,566	13,69	0,4
18	1,06	13,73	0,551	13,67	0,5
14,3	1,11	13,69	0,5	13,62	0,6
14,1	1,11	13,49	0,29	13,38	0,8
13,8	1,11	13,26	0,086	13,1	1
13,6	1,11	13,03	-0,105	12,83	1,2
13,3	1,11	12,81	-0,309	12,56	1,4
13,1	1,11	12,62	-0,53	12,31	1,6
13	1,11	12,47	-0,722	12,1	1,8
12,8	1,11	12,32	-0,93	11,89	2
12,6	1,11	12,18	-1,15	11,68	2,2
12,5	1,11	12,05	-1,331	11,49	2,4
12,3	1,11	11,87	-1,538	11,23	2,6
12,1	1,11	11,66	-1,744	10,93	2,8
11,9	1,11	11,5	-1,936	10,58	3
11,7	1,11	11,33	-2,239	10,05	3,3



Obr. 4.8: Zatěžovací charakteristika při plném napětí FV panelu (FV panel, akumulátor, zátěž)

Stav, kdy Slunce svítí:

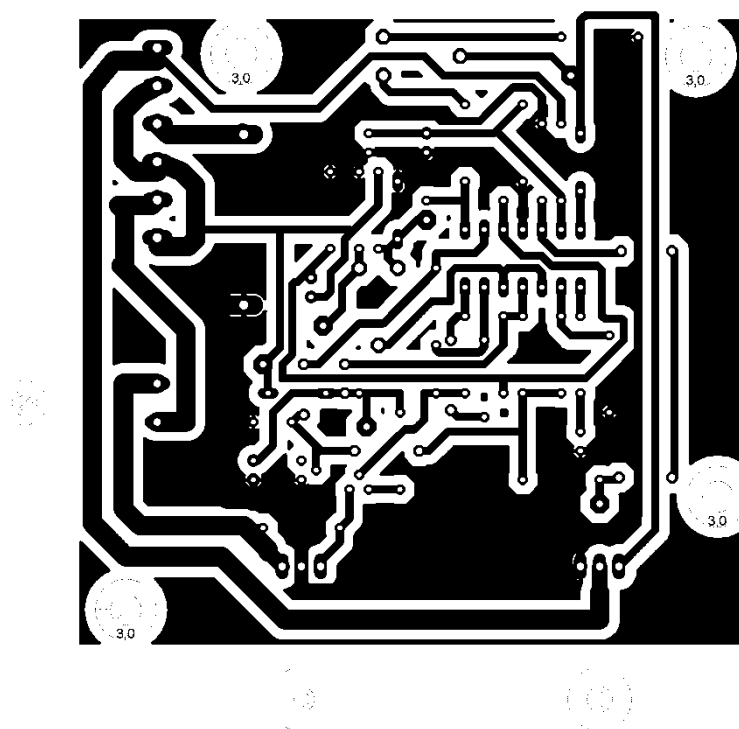
Z grafu je patrné, že $20W$ fotovoltaický panel je schopný dodat do zátěže při jmenovitém napětí $18V$ maximální proud $1,11A$. Při pohledu na zatěžovací charakteristiku fotovoltaického panelu (modrá) vidíme, že při jeho postupném zatěžování (odběr ze zátěže, dobíjení baterie) prudce klesá jeho napětí při proudu $1,1A$ (maximální výkon).

Akumulátor (červená) se začne po spuštění přístroje nabíjet až do bodu, kdy už fotovoltaický panel nedokáže přenášet plný výkon do zátěže. V tomto okamžiku se přestane akumulátor dobíjet a podílí se také na vedení proudu do zátěže (záporné hodnoty proudu akumulátoru).

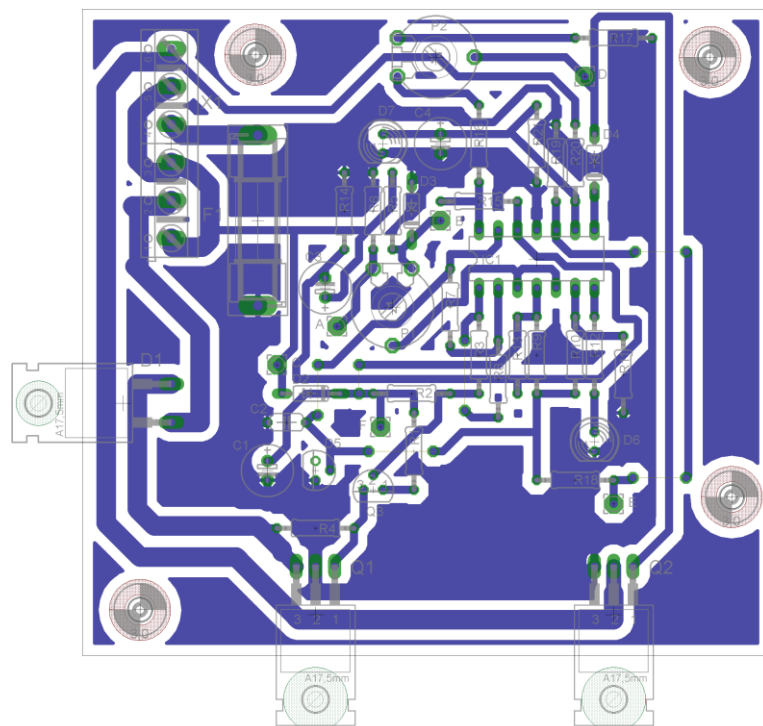
Zátěž (zelená) je schopna odebírat ze solárního regulátoru proud $(0 - 3,3)A$ při napětí $(13,74 - 10,05)V$.

Návrh desky plošných spojů:

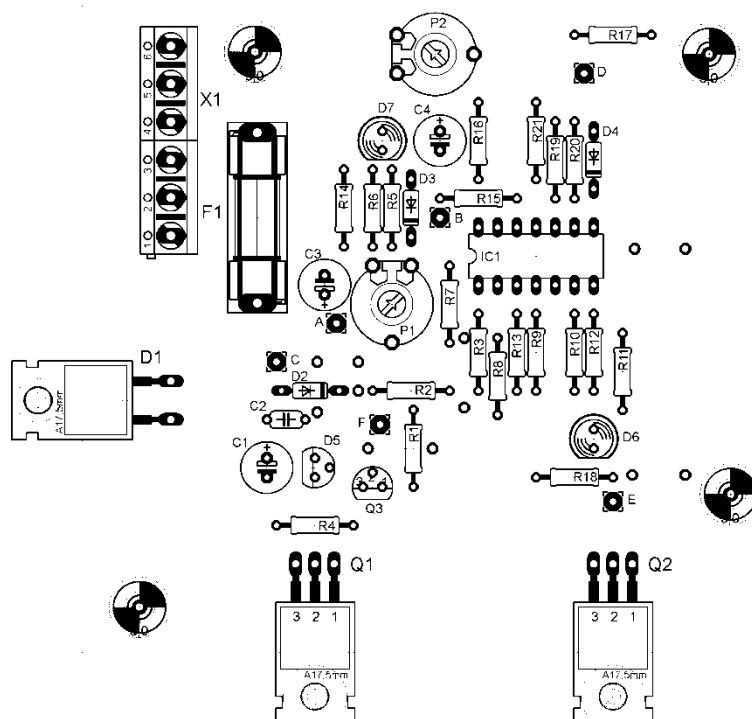
DPS má rozměry: (šířka) $91mm$ x (výška) $85,5mm$



Obr. 4.9: Deska plošných spojů – pohled ze strany spojů



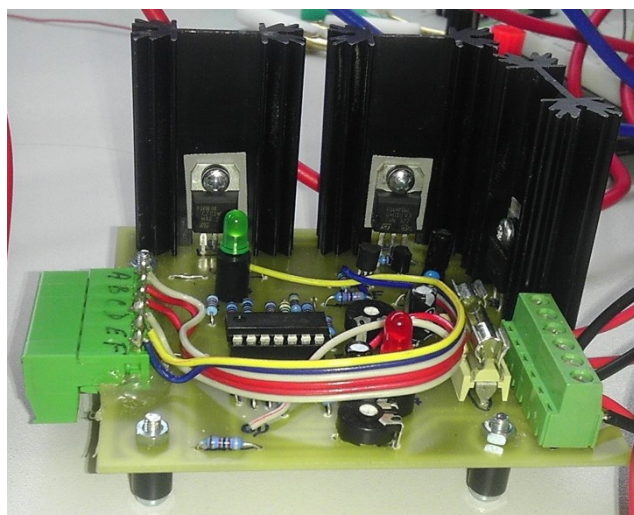
Obr. 4.10: Deska plošných spojů – celkový pohled



Obr. 4.11: Deska plošných spojů – osazovací plán

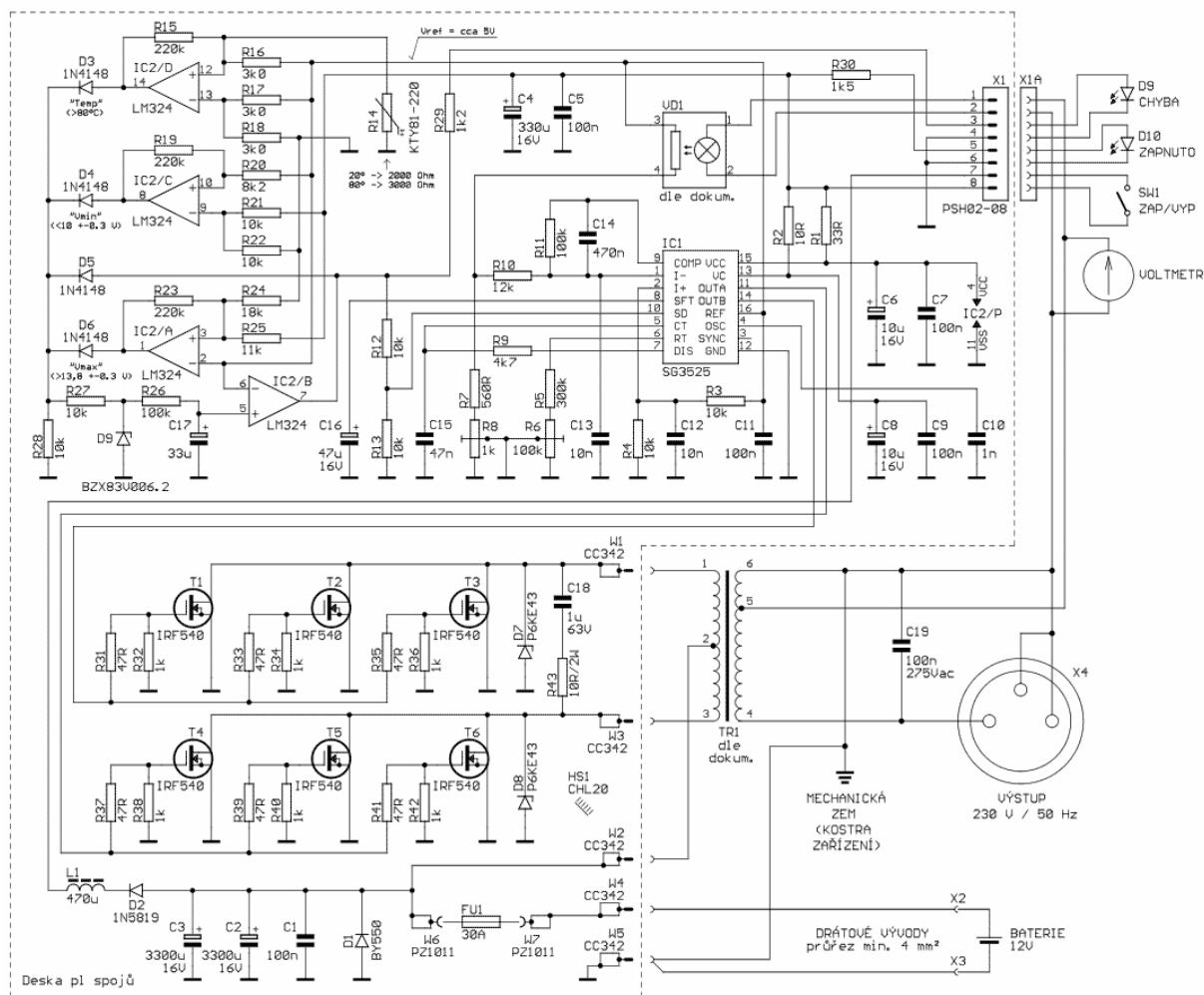
Tab. 4.8: Seznam součástek

Označení	Množství	Hodnota/Typ	Název/Poznámka
<i>R1. R6</i>	2	<i>15k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R2</i>	1	<i>33k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R3. R4. R16. R19.</i>	5	<i>100k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R5. R17</i>	2	<i>82k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R7</i>	1	<i>10k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R8. R21</i>	2	<i>1M</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R9</i>	1	<i>12k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R10</i>	1	<i>1k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R11</i>	1	<i>120k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R12</i>	1	<i>2k2</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R13. R18</i>	2	<i>150k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R14</i>	1	<i>47k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>R15</i>	1	<i>270k</i>	odpor <i>0.5W</i>
<i>P1</i>	1	<i>5k</i>	trimr LI10
<i>P2</i>	1	<i>50k</i>	trimr LI10
<i>D1</i>	1	<i>MBR1645</i>	schottkyho dioda
<i>D2. D3. D4</i>	3	<i>1N4148</i>	dioda
<i>D5</i>	1	<i>LM336LP</i>	zdroj referenčního napětí
<i>D6</i>	1	<i>LED</i>	zelená LED
<i>D7</i>	1	<i>LED</i>	červená LED
<i>C1</i>	1	<i>10u/16V</i>	elektrolytický kondenzátor
<i>C2</i>	1	<i>100n/63V</i>	keramický kondenzátor
<i>C3</i>	1	<i>2u2/16V</i>	elektrolytický kondenzátor
<i>C4</i>	1	<i>10u/16V</i>	elektrolytický kondenzátor
<i>O1</i>	1	<i>BUZ71</i>	tranzistor MOSFET/N
<i>O2</i>	1	<i>BUZ10</i>	tranzistor MOSFET/N
<i>O3</i>	1	<i>BC557</i>	bipolární tranzistor
<i>IC1</i>	1	<i>LM324N</i>	4xbipolární operační zesilovač
<i>F1</i>	1	<i>10AF</i>	tavná pojistka
<i>X1</i>	1	<i>AK500/6</i>	konektor PTR500
<i>CHL1. CHL2. CHL3</i>	3	<i>V7142B</i>	chladič



Obr. 4.12: Obrázek regulátoru solárního nabíjení

4.2. Napěťový střídač



Obr. 4.13: Schéma zapojení střídače

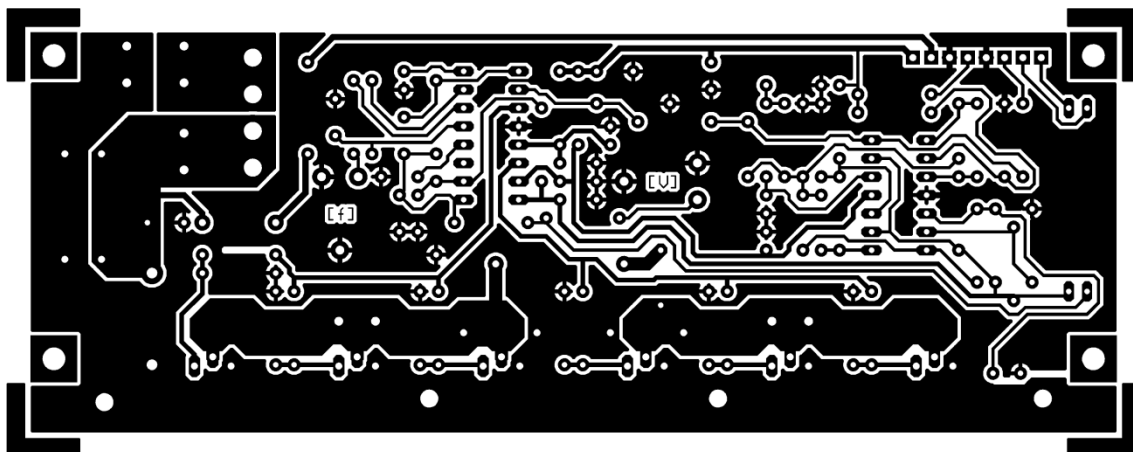
Popis zapojení:

Zapojení napěťového střídače vychází z katalogového listu modulatoru pro spínané zdroje SG3525. Schéma tohoto střídače je možno rozdělit do několika funkčních bloků, kterými jsou: výkonový obvod, PWM modulátor a pomocné komparátory. Ve výkonovém obvodu je použito klasické zapojení dvojčinného měniče. Použité výkonové spínací tranzistory *T1* až *T6* jsou dostatečně předimenzovány ze dvou důvodů: snížení odporu v sepnutém stavu a také spínací ztráty díky paralelnímu spojení tranzistorů a také kvůli rezervy pro nárazové proudy např. při rozběhu motoru nebo rozsvěcení žárovky. V tomto zapojení není použito žádné omezení maximálního zatěžovacího proudu. Maximální výstupní proud je limitován pouze transformátorem, jehož výkon je *100W*. Jediná ochrana je automobilová tavná pojistka o proudu *10A* na vstupu střídače. Sériový RC článek *R43/C18* připojený paralelně k primárnímu vinutí toroidního transformátoru omezuje překmitý a spolu s paralelními transily napěťové namáhání tranzistorů MOSFET *T1* až *T6*. Použitý PWM modulátor pro spínané zdroje SG3525 je zapojen v katalogovém zapojení a pracuje na velmi nízkých frekvencích. Proti katalogovému zapojení je

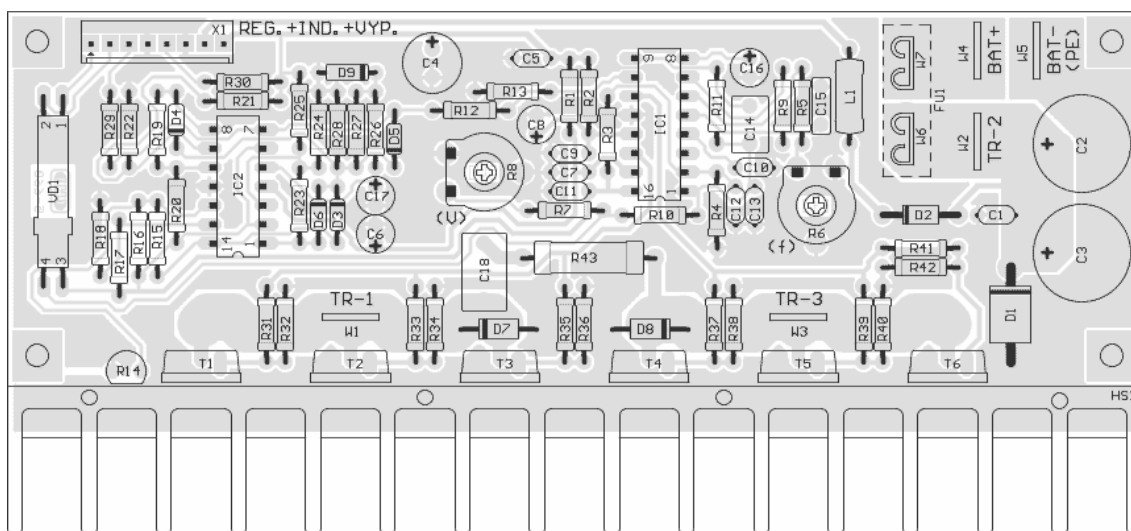
navíc kondenzátor $C10$, který tlumí překmity vnitřního klopného obvodu typu flip-flop. Způsob regulace výstupního napětí není řešena klasicky jako komparace výstupního napětí s referenční úrovní, protože by došlo pouze k vytvoření usměrněného napětí, které by mělo vrcholovou velikost danou napájecím napětím o transformační poměr, to znamená, že vrcholovou hodnotu není možno regulovat. Velikost napětí je řízena pouze šířkou budících pulzů tak, že odpovídá fyzikální definici efektivní hodnoty harmonického průběhu (integrování). Zvýšením zatížení nebo poklesem napětí akumulátoru může dojít k snížení vrcholové hodnoty výstupního napětí, to znamená, že dojde k prodloužení doby sepnutí výkonových tranzistorů. Regulace výstupního napětí je zde řešena pomocí optické vazby žárovky a fotoodporu. Žárovka je napájena z odbočky primárního vinutí toroidního transformátoru s napětím $6V$. Reakční doby žárovky nejsou úplně dokonalé, zde se projevuje doba dohasínání žárovky. Odezva na pokles napětí je poněkud delší, odezva na nárůst napětí je podstatně lepší. Použitá žárovka s parametry $12V/50mA$ by měla mít životnost 6000 hodin při jmenovitém napětí. Žárovka pracuje na napětí $\pm 6V$, proto by její životnost měla být delší. Tato optická vazba žárovky a fotoodporu je řešena zasunutím obou součástí do smršťovací bužírky, která se vlivem tepla zúží. Střídač je dále vybaven třemi komparátory, které zabezpečují bezpečný provoz. Při napětím menším, než cca $10V$ překlápá podpětový komparátor, tímto se zabrání úplnému vybití a zničení akumulátoru a zároveň zabrání podpětí na výstupu střídače. Naopak při vysokém napětí akumulátoru vybaví takzvaný přepětový komparátor ($IC2/A$). Vyšším napětím by nemělo dojít ke zničení součástí střídače, ale maximální hodnota výstupního napětí by přesáhla $340V$, což je maximální napětí, které může být v síti $230V$ ($230V + 5\% = 241,5 \cdot 1,41 = 340,5V$). Spotřebiče se spínanými zdroji (notebooky, počítače, televize...) využívají této usměrněné vrcholové hodnoty napětí ze sítě a obsahují filtrační kondenzátory na maximální napětí $350V$. Přepětový komparátor vybaví při napětí $13,8V$. Přepětový i podpětový komparátor mají hysterezi asi $0,3V$. Třetí komparátor ($IC2/D$) slouží k vyhodnocení teploty chladiče, na němž jsou umístěny výkonové spínací tranzistory. Teplota vybavení je asi $80^{\circ}C$ (odpor čidla $3k\Omega$). Jako teplotní čidlo je použit termistor PTC – KTY81-220 ($2k\Omega/25^{\circ}C$). Výstupy těchto tří komparátorů jsou logicky sečteny diodami 1N4148 a zavedeny do vstupu čtvrtého komparátoru ($IC2/B$) s časovým zpožděním cca 5 sekund. Toto zpoždění zamezuje vypnutí střídače při krátkém poklesu napětí na vstupu způsobeném například prudkým zatížením. Čtvrtý komparátor má zavedenou zpětnou vazbu, díky které dojde k nevratnému překlapaní. Bez této zpětné vazby by vypnutí vyvolané podpětím při zatížení způsobilo následný vzrůst napětí akumulátoru a opětovné spuštění střídače, tedy k rozhoupání. Opětovný start je možný až po vypnutí a následném zapnutí střídače vypínačem. [8, 13]

Výroba:

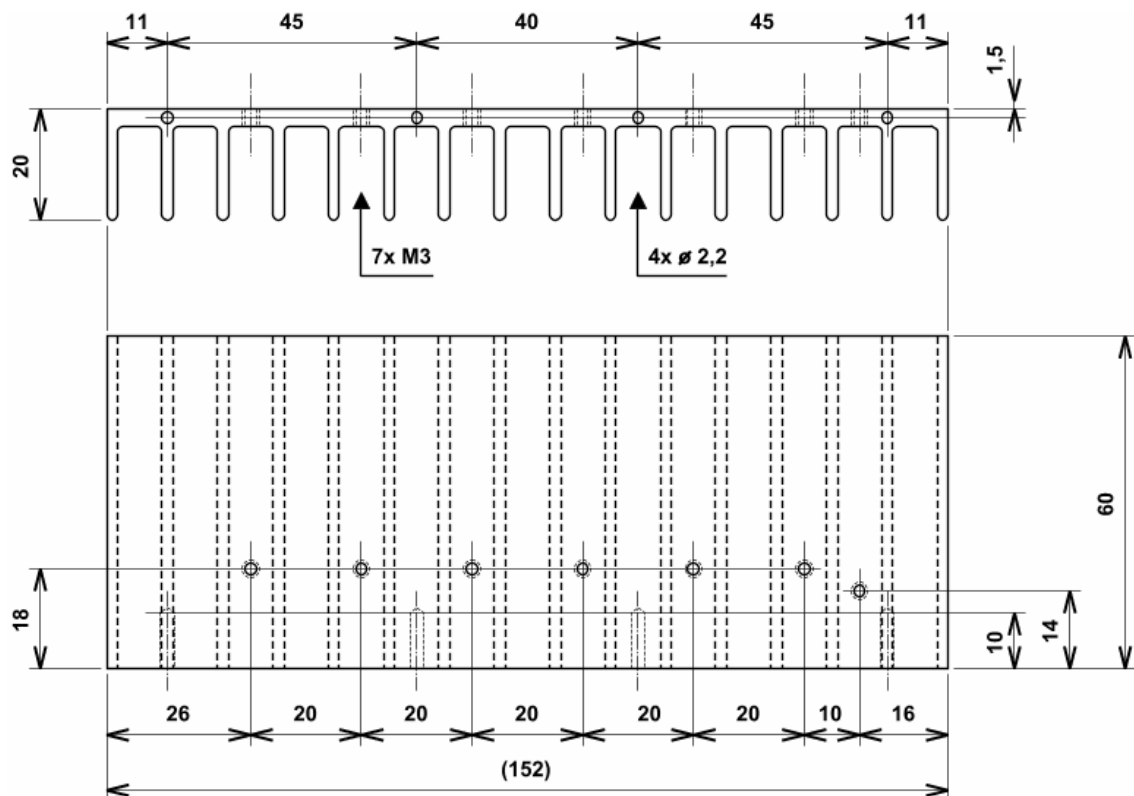
Na jednostranné desce plošných spojů je umístěna většina součástek. K této desce je také přimontován chladič *HS1*, jehož vrtací výkres je na obr. 4.16. Výkonové tranzistory MOSFET jsou na chladič přimontovány přes silikonové podložky a izolační průchodky, styčné plochy chladiče jsou pomazány teplocitlivou pastou. Teplotní čidlo je na chladič přichyceno pájecím očkem. DPS má rozměry $(152 \times 57)mm$.



Obr. 4.14: Deska plošných spojů

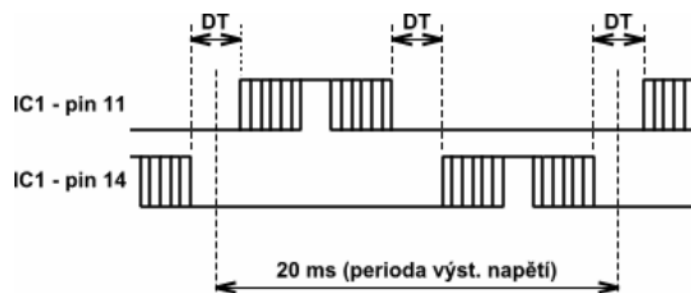


Obr. 4.15: Osazovací výkres desky plošných spojů



Obr. 4.16: Vrtací výkres chladiče

Mimo desku plošných spojů jsou umístěny vypínač *SW1* a indikační LED *D9*, která signalizuje chybu a LED *D10*, která signalizuje zapnutí střídače. Tyto součástky jsou namontovány na přední panel a jsou propojeny k desce plošných spojů pomocí konektoru *X1a*. Nedílnou součástí střídače je toroidní transformátor, v tomto případě jsou jeho parametry: výkon *100VA*, primární vinutí *245V* s odbočkou na *6V* pro napětovou regulaci a sekundární vinutí *2 x 10V* naprázdno. Integrovaný obvod SG3525 je PWM modulátor pro spínané zdroje, pro použití se síťovými spotřebiči musí být perioda výstupního napětí *50Hz*, tzn. *20ms*. Buzení jednotlivých trojic tranzistorů není okamžité, ale obsahuje tzv. mrtvé doby. Regulace napětí se provádí střídou.



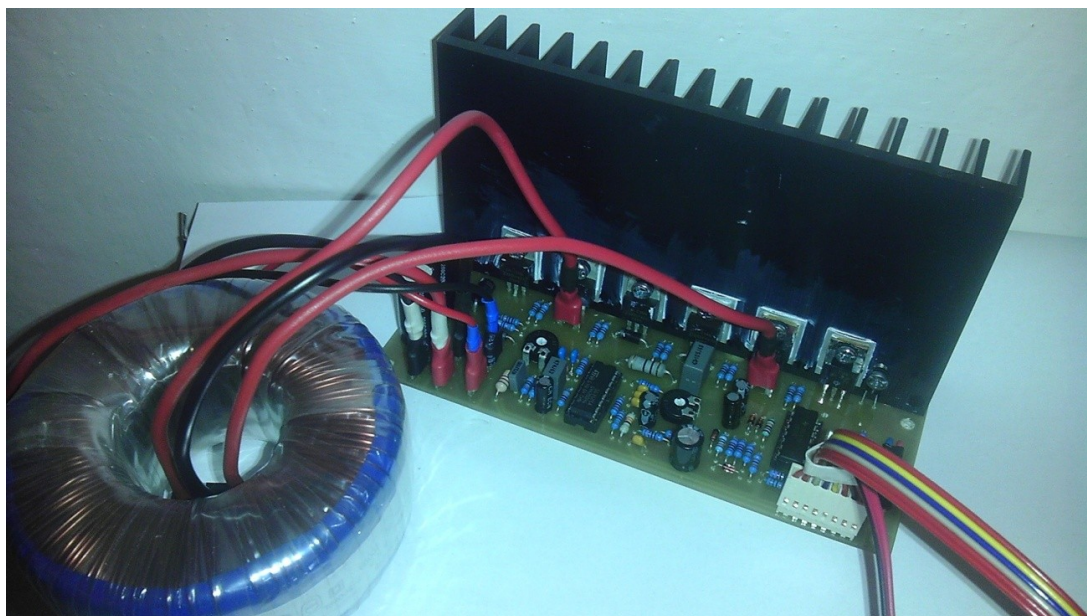
Obr. 4.17: Výstupní průběh z modulátoru SG3525

Tab. 4.9: Seznam součástek

Označení	Množství	Hodnota/Typ	Název/Poznámka
R2	1ks	10R	odpor 0,5W
R1	1ks	33R	odpor 0,5W
R31,R33,R35,R37,R39,R41	6ks	47R	odpor 0,5W
R7	1ks	560R	odpor 0,5W
R32,R34,R36, R38,R40,R42	6ks	1k	odpor 0,5W
R29	1ks	1k2	odpor 0,5W
R30	1ks	1k5	odpor 0,5W
R16,R17,R18	3ks	3k0	odpor 0,5W
R9	1ks	4k7	odpor 0,5W
R20	1ks	8k2	odpor 0,5W
R3,R4,R12,R13,R21,R22,R27,R28	8ks	10k	odpor 0,5W
R25	1ks	11k	odpor 0,5W
R10	1ks	12k	odpor 0,5W
R24	1ks	18k	odpor 0,5W
R1,R26	2ks	100k	odpor 0,5W
R15,R19,R23	3ks	220k	odpor 0,5W
R5	1ks	300k	odpor 0,5W
R43	1ks	10R	odpor 2W
R8	1ks	1k	odporový trimr PT10V
R6	1ks	100k	odporový trimr PT10V
R14	1ks	KTY81-220	teplotní čidlo
C10	1ks	1n	keramický kondenzátor
C12,C13	2ks	10n	keramický kondenzátor
C1,C5,C7,C9,C11	5ks	100n	keramický kondenzátor
C6,C8	2ks	10μ/16V	elektrolyt. kondenzátor
C17	1ks	33μ/16V	elektrolyt. kondenzátor
C16	1ks	47μ/16V	elektrolyt. kondenzátor
C4	1ks	330μ/16V	elektrolyt. kondenzátor
C2,C3	2ks	3300μ/16V	elektrolyt. kondenzátor
C15	1ks	47n/40V	svitkový kondenzátor
C14	1ks	470n/40V	svitkový kondenzátor
C18	1ks	1000n/63V	svitkový kondenzátor
L1	1ks	470μ	tlumivka axiální
(součást VD1)	1ks	ZG1	žárovka 12V/50mA
(součást VD1)	1ks	LDR04	fotoodpor 2kΩ - 20kΩ
(součást VD1)	30mm	průměr 6mm	smršťovací bužírka
D1	1ks	BY550	dioda
D3,D4,D5,D6	4ks	1N4148	dioda
D2	1ks	1N5819	dioda schottky
D9	1ks	BZX83V006.2	zenerova dioda
D7,D8	2ks	P6KE43	transil
T1,T2,T3,T4,T5,T6	6ks	IRLZ34N	tranzistor N-MOSFET
(pro montáž T1 až T6)	6ks		izolační podložka pod TO220
(pro montáž T1 až T6)	6ks		izolační průchodka
IC1	1ks	SG3525	spínaný regulátor
IC2	1ks	LM324	4 x operační zesilovač
X1	1ks	PSH02-08	konektor se zámkem
W1,W2,W3,W4,W5	5ks	CC342	vidlice faston 6,3mm do DPS
W6,W7 (držák FU1)	2ks		zásuvka faston 6,3mm do DPS
FU1	1ks		pojistka 10A
HS1	1ks	CHL20	chladič

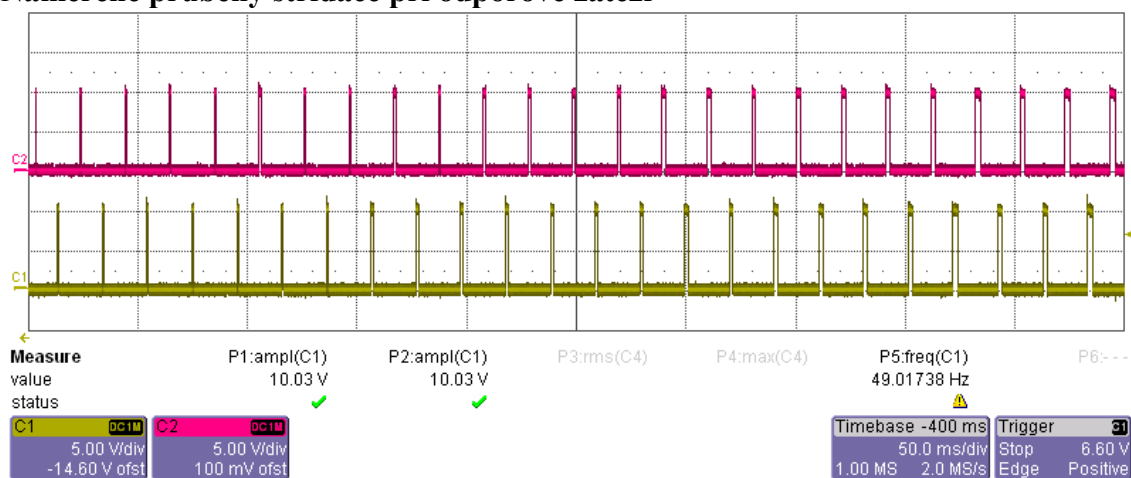
Tab. 4.10: Součástky mimo DPS

Označení	Množství	Hodnota/Typ	Název/Poznámka
TR1	1ks	100W/při:0,6,245/sec: 2x10V	toroidní transformátor
C18	1ks	100n/275VAC	svitkový kondenzátor
SW1	1ks	KNX-1	páčkový přepínač
D9	1ks	libovolná, 10mA	LED 5mm červená
D10	1ks	libovolná, 10mA	LED 5mm zelená
(pro montáž D9, D10)	2ks	LD500	objímka na LED 5mm
X1a	1ks	PFH02-08P	zásuvka se zámkem

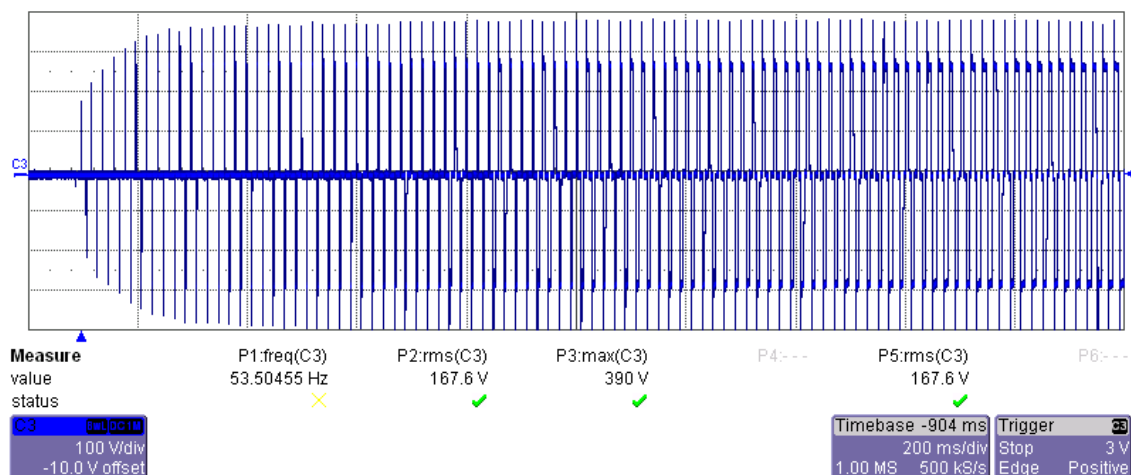


Obr. 4.18: Obrázek napěťového střídače

Naměřené průběhy střídače při odporové zátěži

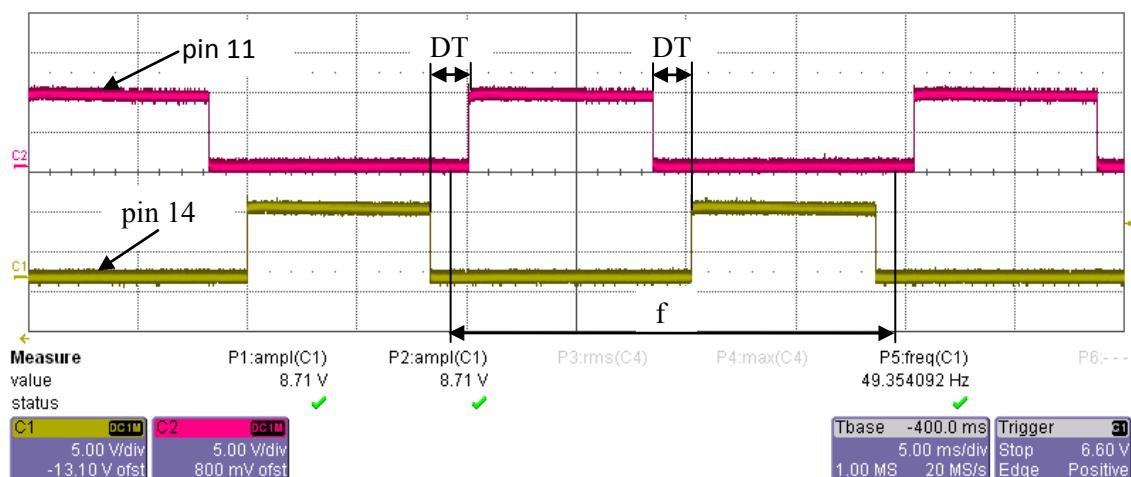


Obr. 4.19: Výstupní průběh napětí ze spínaného regulátoru SG3525 (pin 11, 14 proti GND)



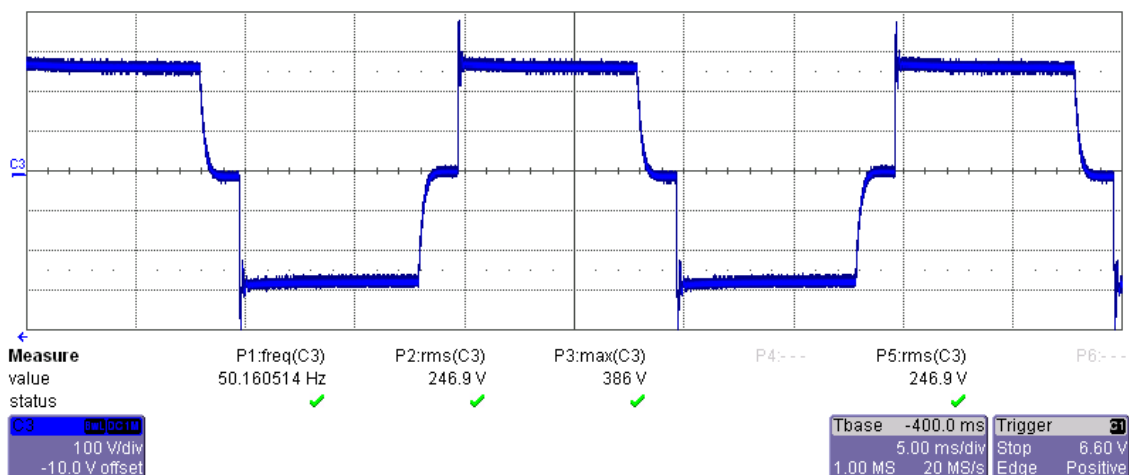
Obr. 4.20: Výstupní průběh za transformátorem

Na obrázcích 4.19 a 4.20 jsou zobrazeny napětí po spuštění střídače. Po startu se napětí a střída zvyšuje s časem až do stabilizované hodnoty.

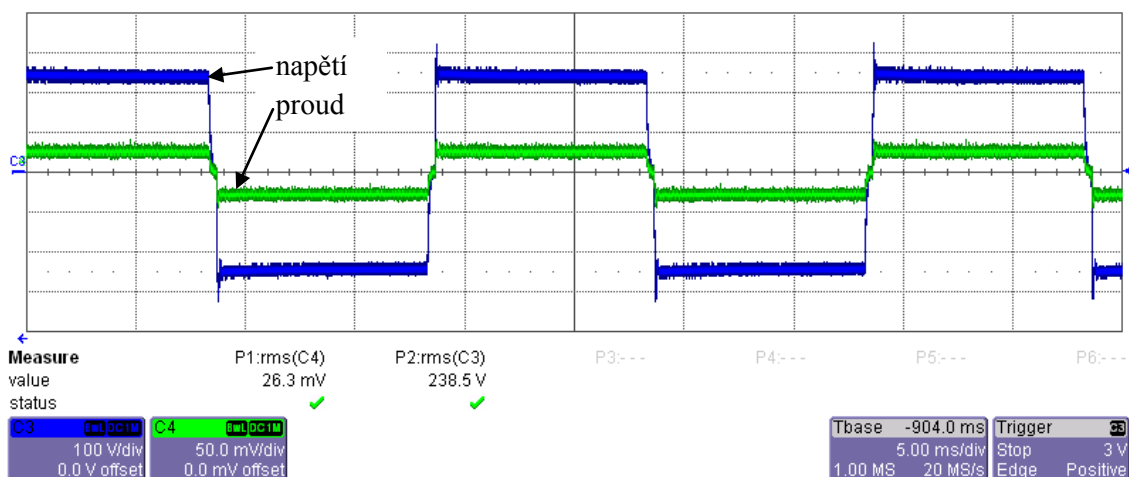


Obr. 4.21: Zobrazení napětí spínaného regulátoru SG3525 (pin 11, 14 proti GND) v ustáleném stavu s vyznačením frekvence a mrtvých dob

Na obrázku 4.21 jsou vidět průběhy napětí spínaného regulátoru SG3525 v ustáleném stavu. Frekvence na výstupu je 50Hz , která lze přesně nastavit trimrem $R6$. Aby nedošlo ke stavu, kdy jsou sepnuty obě skupiny tranzistorů najednou, obsahuje PWM signál tzv. mrtvé doby DT, jejichž hodnota je $1,6\text{ms}$.



Obr. 4.22: Průběh výstupního napětí střídače (za transformátorem) v nezatíženém stavu

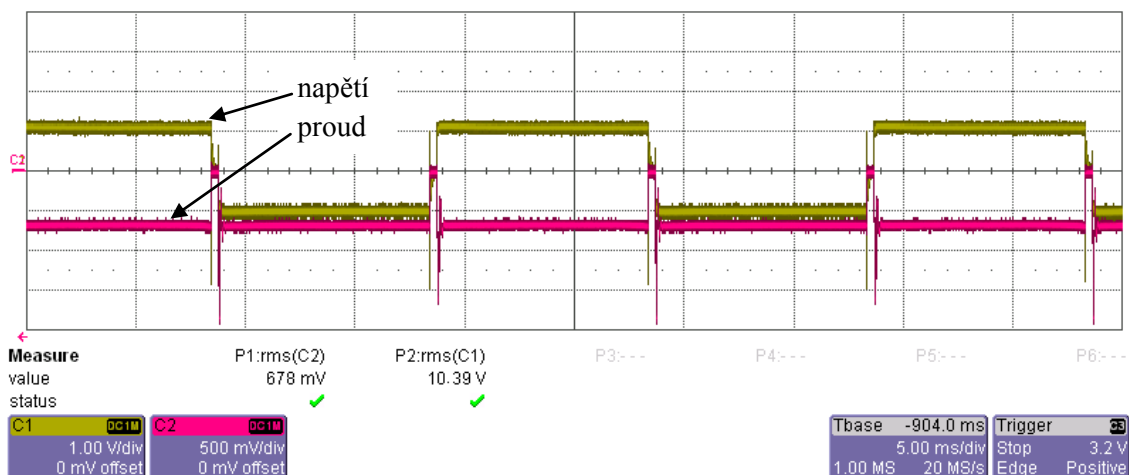


Obr. 4.23: Průběhy výstupního napětí a proudu střídače se zatížením žárovkou 60W

Na obrázku 4.23 jsou zobrazeny průběhy střídače (za transformátorem). Modrý průběh odpovídá efektivní hodnotě napětí 238,5V a zelený průběh odpovídá efektivní hodnotě proudu. Proudová sonda má převod 100mV/A. Hodnotě napětí 26,3mV odpovídá proud 0,263A.

Výkon střídače při zatížení 60W žárovkou:

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = 238,5 \cdot 0,263 = 62,7W \quad (4.11)$$



Obr. 4.24: Průběhy napětí a proudu vstupujících do transformátoru

Obrázek 4.24 zobrazuje průběh napětí v jedné větvi a proud vstupujících do transformátoru. Při zatížení $60W$ žárovkou je efektivní hodnota napětí $10,39V$. Napětí $678mV$ odpovídá hodnotě efektivního proudu $6,78A$, při převodu proudovou sondou $100mV/A$.

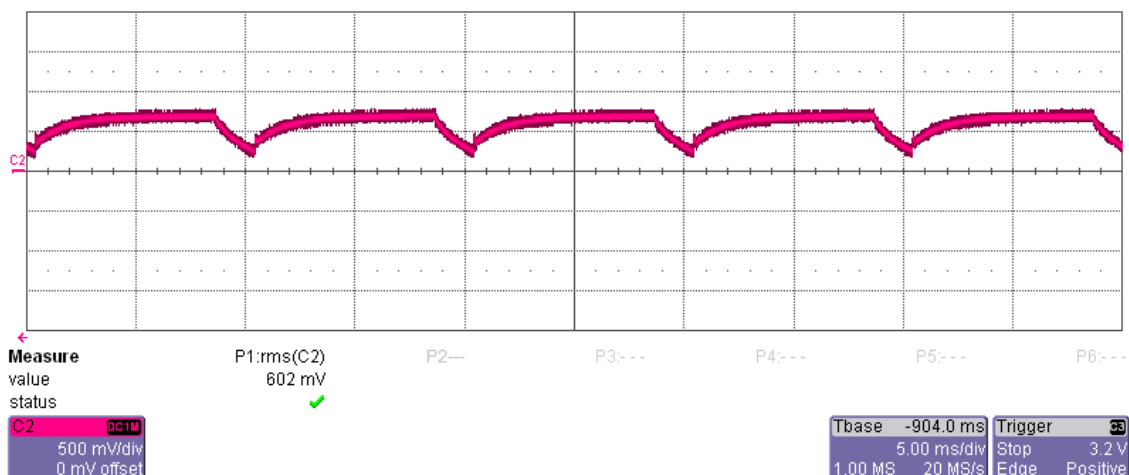
Příkon transformátoru:

$$P_{1t} = U_{1t} \cdot I_{1t} = 10,39 \cdot 6,78 = 70,4W \quad (4.12)$$

Účinnost transformátoru:

$$\eta_t = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{62,7}{70,4} \cdot 100 = 89\% \quad (4.13)$$

Účinnost transformátoru je 89% , z toho vyplývá, že ztráty vzniklé na transformátoru jsou 11% .



Obr. 4.25: Průběh proudu vstupujícího do střídače

Obrázek 4.25 ukazuje průběh proudu vstupujícího do střídače při napětí $12V$, které bylo v okamžiku sejmutí průběhu osciloskopem změřeno digitálním multimetrem při zátěži žárovkou $60W$. Hodnota napětí $602mV$ odpovídá po převedení proudovou sondou hodnotě proudu $6,02A$.

Příkon střídače:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = 12 \cdot 6,02 = 72,24W \quad (4.14)$$

Celková účinnost střídače:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{62,7}{72,24} \cdot 100 = 86,8\% \quad (4.15)$$

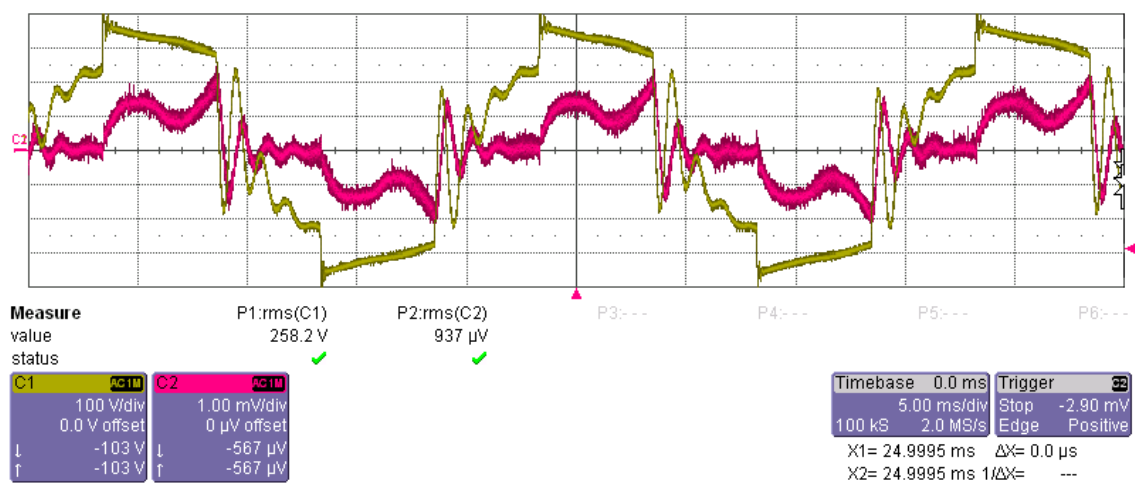
Celková účinnost střídače je 86,8%, což splňuje teoretický předpoklad minimální účinnosti 85%. Největší podíl ztrát způsobuje transformátor (11%) ostatní ztráty jsou způsobeny vedením proudu tranzistory (2,2%).

Naměřené průběhy střídače při zátěži asynchronním motorem

Parametry motoru:

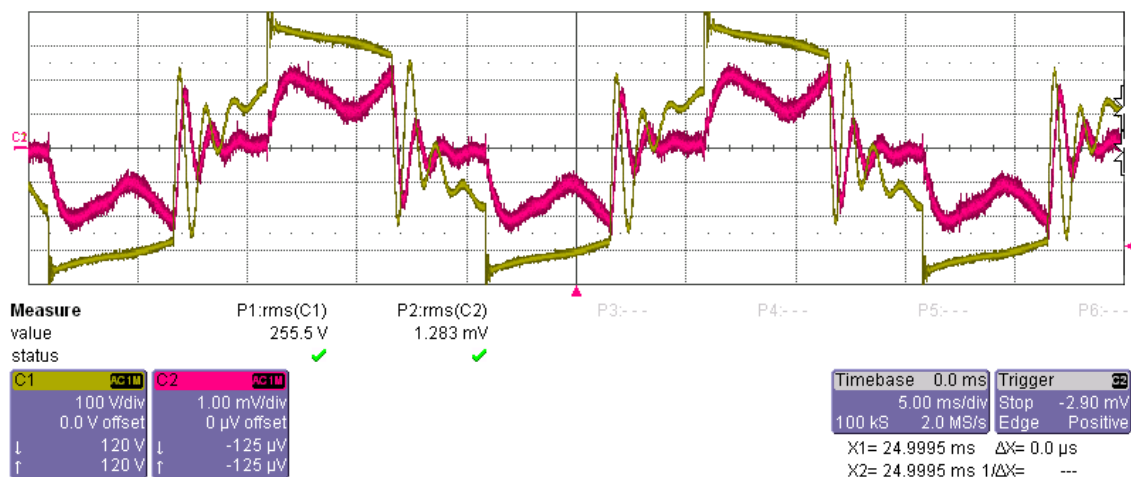
1. fázový asynchronní motor CJBd52P s paralelně připojeným běhovým kondenzátorem
štítkové hodnoty motoru: 15W, 220V~, 2750ot⁻¹, 1 pól-pár

kondenzátor: 1μF/400V



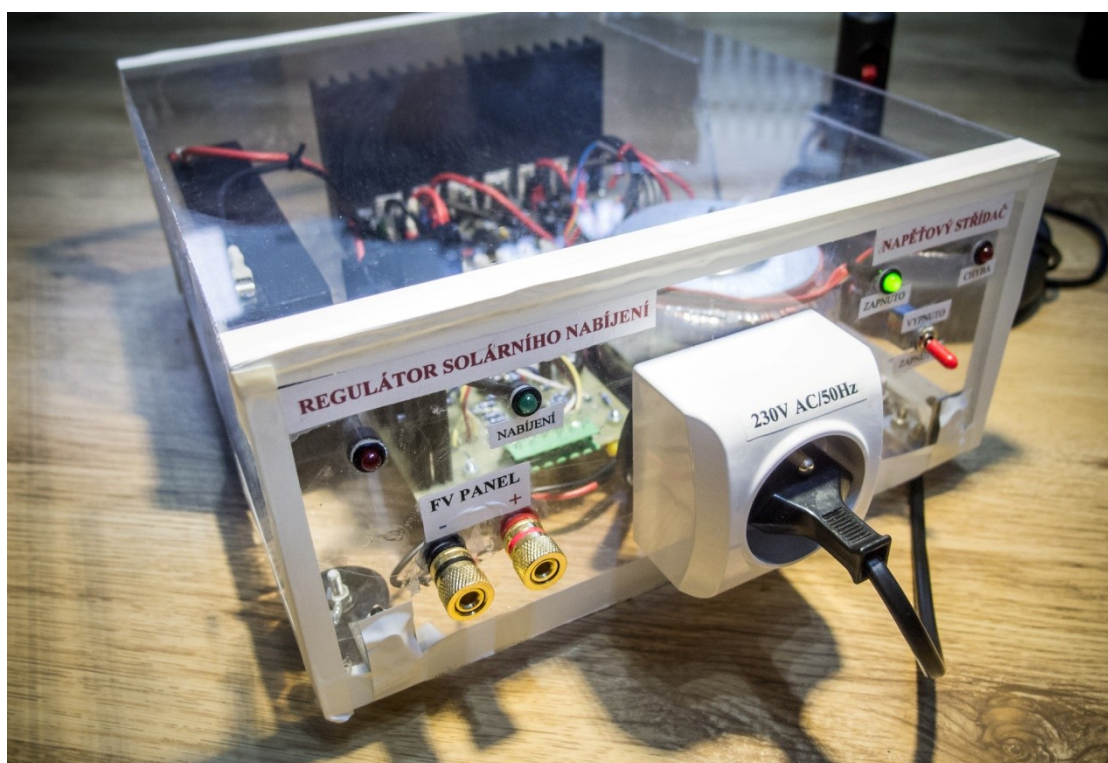
Obr. 4.26: Průběhy napětí a proudu asynchronního motoru bez zatížení

Na obrázku 4.26 zobrazuje žlutá charakteristika střední hodnotu napětí na motoru (258,2V) a červená charakteristika zobrazuje proud motoru (9,26mA). Tyto hodnoty byly změřeny v ustáleném stavu bez zatížení.



Obr. 4.27: Průběhy napětí a proudu asynchronního motoru se zatížením hřídele

Na obrázku 4.27 zobrazuje žlutá charakteristika střední hodnotu napětí na motoru ($255,5V$) a červená charakteristika zobrazuje proud motoru ($12,83mA$). Tyto hodnoty byly změřeny v ustáleném stavu se zatížením hřídele.



Obr. 4.28: Obrázek kompletního měniče pro fotovoltaický panel

5. Závěr

Hlavním cílem mé diplomové práce byl návrh a realizace laboratorního vzorku měniče pro fotovoltaický panel. Navrhl jsem koncepci tohoto měniče složeného z regulátoru solárního nabíjení pro olověný akumulátor, akumulátoru, napěťového střídače a toroidního transformátoru. Při osvětlení fotovoltaického panelu je nabíjen akumulátor, z něhož je napětí rozstřídáno napěťovým střídačem a transformátorem převedeno na střídavé síťové napětí. Jsou zde uvedeny zatěžovací charakteristiky regulátoru solárního nabíjení a průběhy napěťového střídače. Účinnost střídače se pohybuje kolem 87%. Schémata a desky plošných spojů jsem realizoval v programu Eagle. Tento měnič je vhodný pro použití pro napájení drobných aplikací, jako je nabíjení mobilních telefonů, notebooků atd. V teoretické části jsem zpracoval úvod do fotovoltaiky, generační vývoj fotovoltaických panelů, rozdělení fotovoltaických systémů a srovnání parametrů fotovoltaických panelů jmenovitého výkonu $250W_p$. Dále pak uchovávání energie získané ze slunečního světla, rozdělení akumulátorů dle konstrukce a použitých materiálů, určení kapacity a dimenzování akumulátoru a způsoby zapojení akumulátorů. Podrobně jsou zde rozebrány olověné akumulátory, olověné gelové akumulátory a nikl-iontové akumulátory, které jsou v solární technice nejpoužívanější.

6. Seznam použité literatury

- [1] KRIEG, Bernhard. *Elektrina ze Slunce: fotovoltaika v teorii a praxi*. 1. vyd. Ostrava: HEL, 1993, 222 s.
- [2] Cne.cz : Czech Nature Energy [online]. c2015
[cit. 2015-03-15]
Dostupný z WWW: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [3] Czrea.org : Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie [online]. c2003 – 2009
[cit. 2015-03-20]
Dostupný z WWW: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>
- [4] Solarni-panely.cz : [online]. c2007 – 2015
[cit. 2015-03-21]
Dostupný z WWW: <http://solarni-panely.cz/e-shop/fotovoltaicke-panely/fotovoltaicky-solarni-panel-samsung-s-energy-sm-250-pc8-250-wp>
- [5] Solarni-panely.cz : [online]. c2007 – 2015
[cit. 2015-03-21]
Dostupný z WWW: <http://solarni-panely.cz/e-shop/fotovoltaicke-panely/fotovoltaicky-solarni-panel-kyocera-kd-250-gh-250wp>
- [6] Solarni-panely.cz : [online]. c2007 – 2015
[cit. 2015-03-21]
Dostupný z WWW: <http://solarni-panely.cz/e-shop/fotovoltaicke-panely/fotovoltaicky-solarni-panel-cnpv-250wp>
- [7] Solarni-panely.cz : [online]. c2007 – 2015
[cit. 2015-03-21]
Dostupný z WWW: <http://solarni-panely.cz/e-shop/fotovoltaicke-panely/fotovoltaicky-solarni-panel-axitec-250wp>
- [8] datasheetcatalog.com : [online]. c2015
[cit. 2015-02-02]
Dostupný z WWW:
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/S/G/3/5/SG3525.shtml
- [9] zajic.cz : [online]. c2015
[cit. 2015-03-25]
Dostupný z WWW: <http://www.zajic.cz/nablion/lionfaq.htm>

- [10] HUSÁK, Miroslav. *Napájecí zdroje v elektronice*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998, 154 s. ISBN 80-01-01764-8.
- [11] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika, elektřina ze slunce*. 1. vyd. Brno: ERA, 2077, vii, 81 s. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [12] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vyd. Praha: Ilsa, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [13] chd-el.cz : c2014
[cit. 2014-11-20]
Dostupný z WWW: <http://www.chld-el.cz/index.php?id=34>